



Jarno Gullsten

KUNTOLAITTEEN PROTOTYYPIN MEKANIKKASUUNNITTELU

KUNTOLAITTEEN PROTOTYYPIN MEKANIKKASUUNNITTELU

Jarno Gullsten
Opinnäytetyö
Syksy 2013
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio

Tekijä: Jarno Gullsten

Opinnäytetyön nimi: Kuntolaitteen prototyypin mekaniikkasuunnittelu

Työn ohjaaja: Jari Viitala

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: syksy 2013 Sivumäärä: 45 + 4 liitettä

Opinnäytetyössä suunniteltiin kotona käytettävän kuntolaitteen mekaniikka. Suunnittelun lähtökohtana toimi laitteesta aiemmin valmistettu prototyyppi, jonka toimivuutta, käyttömukavuutta ja turvallisuutta haluttiin parantaa. Työn tavoitteena oli saada erilaisia luonnoksia kotikäyttöisestä kuntolaitteesta, tehdä 3D-malli laitteesta ja valmistaa laitteesta jatkokehitettävä prototyyppi.

Työ tehtiin Oulun seudun ammattikorkeakoulun opiskelijoiden Weela-projektia varten. Weela-kuntolaitetta on kehitetty opiskelijoiden toimesta eri projekteissa. Kuntolaitteen prototyypin mekaniikkasuunnittelu on yksi osaprojekti. Työssä sovellettiin tuotekehitystoiminnan menetelmiä. Työssä perehdyttiin myös liikuntateknologiseen alaan ja alan nykyisiin tuotteisiin. Työssä selvitettiin nykyisten laitteiden puutteita, käyttäjien toivomuksia uusilta laitteilta ja sitä, miten suunniteltava laite voisi erottautua kilpailijoiden laitteista.

Työn tuloksena saatiin erilaisia konsepteja kotikäyttöisestä kuntoilulaitteesta, 3D-malli laitteen prototyypistä, alustavia suunnitelmia laitteen sarjatuotannolle ja prototyyppi laitteesta testausta varten. Prototyyppi valmistettiin Oamkin tiloissa koneistamalla alumiinista ja pikamallinnetuilla osilla. Prototyypissä hyödynnettiin edellisen prototyypin sähkömoottoreita. Prototyyppi suunniteltiin siten, että tarvittaessa sähkömoottorit voidaan helposti vaihtaa toisenlaisiin. Prototyyppiin lisättiin myös pyörimisnopeusanturit, joilla voidaan pyörimisnopeuden lisäksi tunnistaa pyörimissuunta. Prototyyppi todettiin toimivaksi, ja prototyypin pohjalta on hyvä lähteä jatkamaan laitteen kehittämistä.

Asiasanat: mekaniikkasuunnittelu, kuntoilu, tuotekehitys, kuntolaite, liikuntateknologia

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 WEELA-KUNTOLAITE	7
2.1 Työn lähtökohta	7
2.2 Uuden prototyypin kehittäminen	8
3 TUOTEKONSEPTOINTI JA TUOTEKEHITYS	10
3.1 Liikuntateknologia	10
3.2 Kilpailija-analyysi	11
3.3 Suunniteltavan kuntolaitteen edut kilpailijoihin nähden	12
3.4 Mekaniikkakonseptit	13
4 TASAVIRTAMOOTTORI JA MOOTTORINOHJAUS	17
4.1 Hiiliharjallinen tasavirtamoottori	18
4.2 Harjaton tasavirtamoottori	18
4.3 Pyörimisnopeuden mitta	19
5 KUNTOLAITTEEN MALLINNUS	21
5.1 Laitteen runko	21
5.2 Putkimoduulien päätylaippa	23
5.3 Putkimoduulien liitos	25
5.4 Kelain	28
5.5 Jalkatuet	31
5.6 Pyörimisnopeuden mitta	32
5.7 Mallinnuksen tulokset	33
6 SARJAVALMISTUSMENETELMÄT JA MALLIEN KEVENNYS	34
6.1 Ruiskuvaluteknikka	34
6.2 Ohutlevykappaleen suunnittelu	34
6.3 Pikamalliosien optimointi	35
7 PROTOTYYPPI	38
7.1 Prototyypin valmistaminen	38
7.2 Prototyypin toiminta	39
7.3 Prototyypin kehittäminen	41

8 TUOTTEEN JATKOKEHITYS	42
9 YHTEENVETO	43
LÄHTEET	44
LIITTEET	
Liite 1 Lähtötietomuistio	
Liite 2 Pääkokoonpanopiirustus	
Liite 3 Kokoonpanopiirustus kelainmoduuli	
Liite 4 Kokoonpanopiirustus moottorimoduuli	

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kerrotaan kotikäyttöisen kuntolaitteen mekaniikkasuunnittelusta. Työn lähtökohtana oli laitteesta Oulun seudun ammattikorkeakoulussa valmistettu prototyyppi. Prototyypistä haluttiin tehdä uusi versio, jonka toimintaa, käyttömukavuutta ja turvallisuutta haluttiin parantaa. Kuntolaitetta on kehitetty opiskelijoiden Weela-projektissa Oulun seudun ammattikorkeakoulussa. Weela-projekti on opiskelijavetoinen projekti, jossa Weela-kuntolaitteen tuotteistamista on harjoitettu usean Oulun seudun ammattikorkeakoulun yksikön toimesta. Projektissa on ollut mukana tietotekniikan osaston hyvinvointitekniikan suuntautumisvaihtoehto, sosiaali- ja terveystieteiden yksikkö, liiketalouden yksikkö ja konetekniikan osasto.

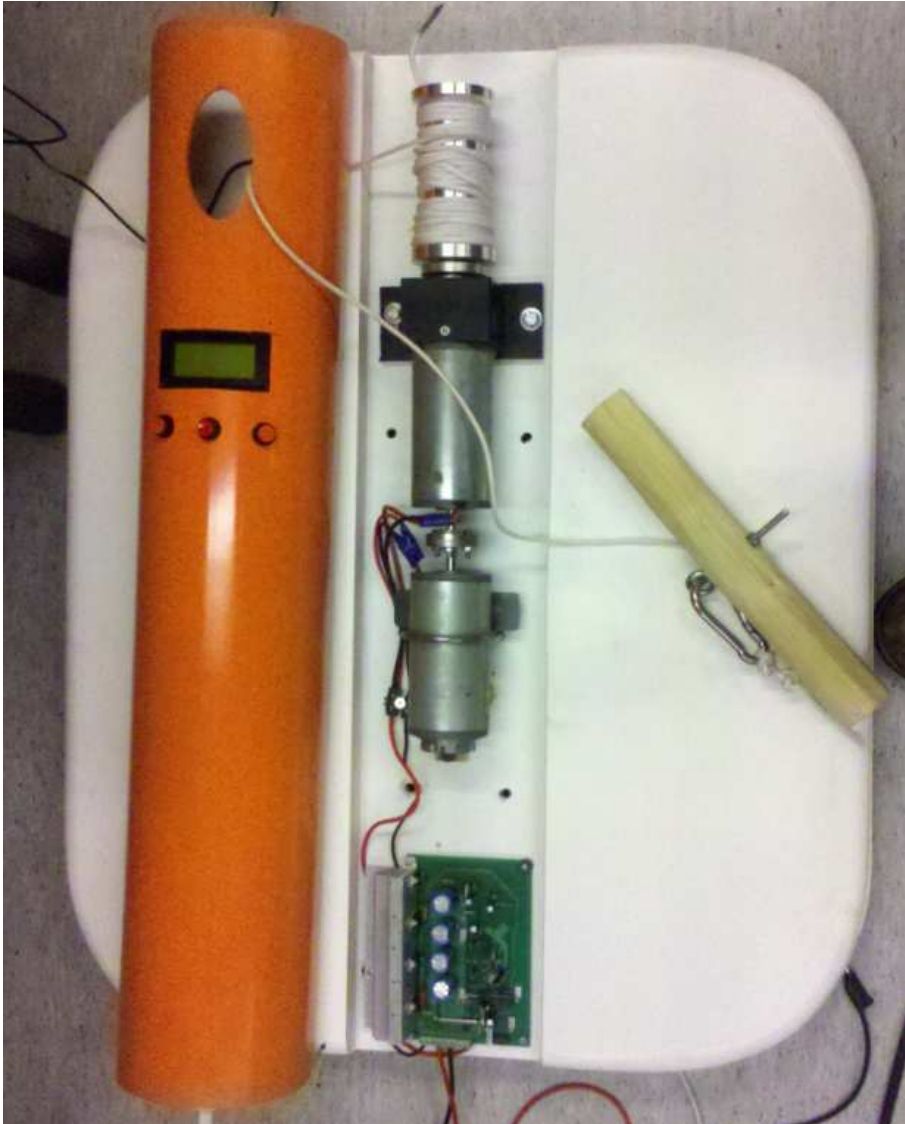
Mekaniikkasuunnittelu on yksi osa projektikokonaisuutta. Työn tavoitteet ja aikataulu on esitetty liitteessä 1. Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella erilaisia konsepteja kuntolaitteen toteutuksesta, valita sopivin valmistusmenetelmä kuntolaitteelle, tehdä kuntolaitteesta 3D-malli Solidworks-ohjelmalla ja tehdä prototyyppi laitteesta jatkokehitystä varten. Prototyypistä päätettiin jo projektin alkuvaiheessa tehdä useita toiminnaltaan erilaisia malleja, joista testaamalla haetaan parhaita ideoita tuotantomallia varten.

2 WEELA-KUNTOLAITE

2.1 Työn lähtökohta

Sähkömoottorin soveltuvuutta kuntolaitteen vastavoiman tuottajaksi on tutkittu Timo Matalalammen opinnäytetyössä (1). Matalalammen opinnäytetyössä on rakennettu pulssinleveysmodulaatioon perustuva ohjain sähkömoottorille. Ohjaimella säädetään moottorille syötettävää roottorivirtaa. Moottorin roottorivirta määrää moottorilta saatavan momentin määrän. (1, s. 12.) Työssä on myös kehitetty erilaisia vastuksen profiilisäätöjä, joissa vastus muuttuu kuntoliikkeen aikana. Vastuksen muuttaminen kesken liikkeen edellyttää pyörimisnopeuden ja pyörimissuunnan tutkimista anturilla. (1, s. 42 - 46.)

Laitteesta on tehty prototyyppi Oulun seudun ammattikorkeakoulussa. Laitteen mekaniikka on koottu puisen levyn päälle. Mekaniikka koostuu kahdesta Dunkermotorin hiiliharjallisesta tasavirtamoottorista, jotka on kytketty akseleistaan sarjaan. Moottoreiden pyörimisnopeutta on laskettu alennusvaihteella. Moottoreita ohjataan Arduino-mikrokontrollerilla ja moottorinohjaimella säätämällä tasavirtamoottorin ankkurivirtaa. Moottorilta saatava momentti on suoraan verrannollinen ankkurivirtaan. Moottorilta välittyvä momentti pysyy tasaisena koko kuntoliikkeen ajan. Kuvassa 1 nähdään prototyypin mekaniikan toteutus.



KUVA 1. Prototyypin mekaniikan toteutus

2.2 Uuden prototyypin kehittäminen

Prototyypissä olevia rakenteellisia ongelmia ovat laitteen liian suuri koko, laitteen keskellä oleva kohouma ja narun kelauksen liian hidas kiihtyvyys. Moottorin kiihtyvyys ei riitä kelaamaan narua laitteelle tarpeeksi nopeasti käyttäjän pudottaessa tankoa nopeasti alaspäin.

Laitteen mekaniikan ongelma on kelainrullan tuenta, joka on toteutettu ainoastaan kelainrullan toisesta reunasta. Kelarullaan kohdistuva veto aiheuttaa rasi-tusta vaihteelle. Laitteessa on myös käyttäjän turvallisuuden suhteen parannet-tavaa. Laitteen kahvassa on ulostyöntyvä ruuvi, joka voi helposti vikatilanteessa osua käyttäjään. Vikatilanne voi olla esimerkiksi narun katkeaminen, liitoksen

pettäminen tai moottorin vikatilanne. Laitteessa ei ole pyörimisnopeusanturia, joten laitteeseen ei voida ohjelmoida erilaisia Timo Matalalammen työssä esiteltyjä profiilisäätöjä (1, s. 46). Profiilisäädöillä liikkeen eri kohdissa voidaan vastusvoimaa lisätä tai vähentää. Käytännössä tämä tarkoittaa moottorin roottorivirran säätämistä paikan vaihtuessa. Prototyyppiin täytyy lisätä pyörimissuunnan tunnistava anturi. Anturilta saatava pulssitieto käsitellään ohjelmallisesti, jolloin tiedosta saadaan tangon paikka ja liikkeen suunta.

Laitteelle esitettiin toivomuksia ja vaatimuksia projektin johdon puolesta. Vaatimuksia ja toivomuksia esitettiin myös toiselta projektiryhmältä, jonka projektin aiheena ovat laitteella tehtävät kuntoliikkeet. Taulukossa 1 on esitetty laitteelta toivotut ja vaaditut ominaisuudet.

TAULUKKO 1. Laitteelta toivottuja ja vaadittuja ominaisuuksia

Vaatuslista	
Käyttäjälle turvallinen	Vaatus
Yläpinta tasainen	Vaatus
Edullinen valmistaa	Vaatus
Pienikokoinen (korkeus lattiasta < 200 mm)	Vaatus
Vetokohta vaihdettavissa keskeltä sivuille	Toivomus
Laitteeseen voidaan helposti liittää erilaisia tankoja	Vaatus
Laite on laajennettava	Toivomus
Toiminnan on simuloitava vapailla painoilla tehtäviä liikkeitä	Vaatus

3 TUOTEKONSEPTOINTI JA TUOTEKEHITYS

Konsepteilla määritellään alustavasti tuotteen käyttöä, ulkonäköä, rakennetta, mekaniikkaa, kokoonpanoa ja valmistusmenetelmiä. Tuotteen valmistushintaan vaikuttavat suunnittelun investoinnit, työkaluinvestoinnit sekä osien ja kokoonpanon kustannukset. Tuotekehityksen aikatauluttamiseksi selvitetään konseptien osien määrää, osien valmistuksen vaativuus ja valmistusmenetelmä. (2.)

Tuotesuunnittelun ensimmäisiin vaiheisiin liittyvällä konseptoinnilla tarkoitetaan yleensä tuotteen ensimmäisiä hahmotelmia. Määrittelevän konseptoinnin tuloksena on tarkoitus saada kattava kuvaus tuotteesta, jolloin konseptin pohjalta voidaan aloittaa yksityiskohtainen suunnittelu. (3, s. 40 - 41.)

Tuotekehityksessä kustannukset ovat yleisesti suuri tekijä. Ne osaltaan määrittävät suunnittelua tiettyyn suuntaan. Tuotesuunnittelun kustannukset ovat projektin alkuvaiheessa pienet verrattuna valmistusvaiheessa tehtäviin suunnittelumuutoksiin. Vaikutusmahdollisuudet tuotteen suuriinkin muutoksiin ovat projektin alkuvaiheessa mahdollisia. Projektin alkuvaiheen selvitykset ja suunnitelmat on siten syytä tehdä perusteellisesti. (4.)

Tuotekehitykseen liittyviä yleisimpiä vaiheita ja selvityksiä ovat tutkimus ja strateginen design, jonka tuloksina saadaan esimerkiksi markkinatutkimuksia ja kilpailija-analyysyjä. Toinen vaihe on tuotekonseptin kehitys, jonka tuloksena saadaan tuotekonsepti, spesifikaatiot ja valmistuskonsepti. Kolmantena vaiheena on tuotteen ja tuotantoprosessin kehittäminen, josta tuloksena ovat muotoilu, prototyypit ja valmistuksen esisuunnitelma. Neljäntenä vaiheena ovat tuotteen ja prosessin valmistelu toteutettavaksi. Vaiheen tuloksena voi olla esimerkiksi sarjatuotantomenetelmällä valmistettu laatuvaatimukset täyttävä tuote. Viimeisenä vaiheena tuotekehityksessä on tuotteen toimiva sarjatuotanto. (4.)

3.1 Liikuntateknologia

Liikuntateknologian sovelluksista on Suomessa pitkä perinne ja useita menestyneitä esikuvia. Sykemittareita valmistavat yritykset ovat maailmanmarkkinoilla johtavassa asemassa. Uusia innovaatioita tarvitaan erityisesti parantamaan ja

ymmärtämään ihmisten motivoitumisen tekijöitä. Mahdollisuuksia liikkujien motivoimiseen ovat esimerkiksi vertaisryhmän kannustus Internetin välityksellä. (5, s. 93 - 94.)

Jyväskylän yliopiston informaatioteknologian tiedekunnan Sedospo-hankkeessa on tutkittu liikuntateknologisten laitteiden käyttäjiä ja laitteiden käytettävyyttä. Käyttäjiltä kysyttiin mielipiteitä nykyisistä teknologiasovelluksista ja siitä millaisia uusia palveluita liikuntateknologia kaipaa. Syitä liikuntateknologisten laitteiden käyttöön ovat omien tavoitteiden saavuttaminen varmemmin ja laitteilla saavutettava mielihyvä. Laitteiden käyttö tekee liikunnasta hausempaa, nautittavampaa ja miellyttävämpää kuin ilman laitteita suoritettu liikunta. Liikuntatulosten jakaminen toisille käyttäjille koetaan tärkeänä.

Liikuntateknologisilta tuotteilta saatava tieto on monien käyttäjien mielestä liian vaikeaselkoista. Laitteet ovat tutkimuksen mukaan suunnattu liian tavoitteellisille käyttäjille. Vähän liikkuvat käyttäjät eivät saa tarpeeksi ymmärrettävää ja motivoivaa tietoa suorituksistaan. Käyttäjät haluaisivat mittareiden sijaan ostaa liikumiseen kokonaisvaltaisempaa ratkaisua. Liikuntateknologian toivotaan antavan suoraa tietoa oikein tehdyistä suorituksista, selkeää ohjausta, kannustusta ja tietoa siitä, että oma tekeminen riittää haluttuun tavoitteeseen. (6.)

3.2 Kilpailija-analyysi

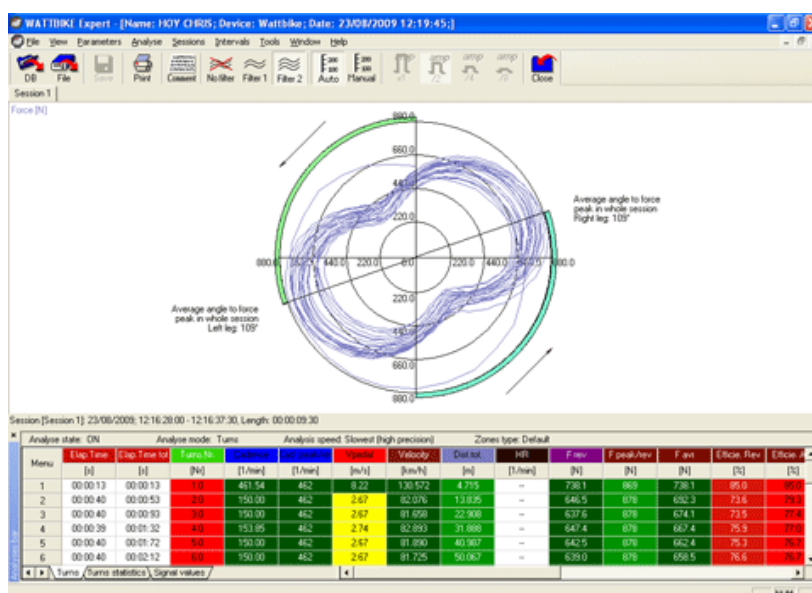
Markkinoilta löytyviä kotikuntolaitteita ovat yleisimmin kuntopyörät, lihaskuntolaitteet ja soutulaitteet. Lisäksi erilaisia elastisia kuntohihnoja, vapaita painoja ja kahvakuulia käytetään kotikäytössä. Kotikuntoiluun sopivien laitteiden hankintahinnat ja käytetty tekniikka vaihtelevat suuresti.

Kuntoilutiedon tallennus ja tiedon jakaminen ovat uusia kuntoilulaitteiden ominaisuuksia, jotka ovat viime aikoina yleistyneet myös harrastajien keskuudessa. Yleisimpiä kuntoilutiedon mittauksia ovat ajan, matkan, nopeuden, kalorinkulutuksen ja sykkeen mittaus. Ergometriksi kutsutaan laitetta, joka mittaa harjoitukseen kulutetun tehon (7).

Uusia sovelluksia kuntoilussa ovat internetissä toimivat harjoituspäiväkirjat, joihin kuntoilutieto tallennetaan reaaliaikaisesti. Esimerkkinä tällaisesta tuotteesta

on Technogym yrityksen mywellness-avain. Avain on mukana pidettävä aktiivisuusmittari, joka kiihtyvyyssanturien perusteella mittaa liikkumisen määrän. Avain on myös kytkettävissä Technogym-kuntolaitteisiin, jolloin laite mittaa ja tallentaa kuntolaitteella tehdyn harjoituksen. Internet-palvelusta voi nähdä tehdyt harjoitukset ja fyysisen aktiivisuuden. (8.)

Wattbike-kuntopyörä tallentaa käyttäjän polkimien käytön voimakuvion. Laite mittaa poljinvoiman parametreja ja piirtää saaduista parametreista voimakäyrän. Voimakäyrä kuvassa 2 kertoo käyttäjän voimankäytön tehokkuudesta polkemisessa. (9.)



pneumaattisella vastuksella tai muilla vastusmenetelmillä toimiviin laitteisiin. Sähkökäyttöisellä vastuksella varustetun kuntolaitteen toimintaan on helposti yhdistettävissä mittaustekniikkaa. Sähkömoottoriin on helposti yhdistettävissä moottorin pyörimisnopeuden mittausta. Pyörimisnopeuden perusteella voidaan laskea liikenopeus, liikematka ja kiihtyvyydet. Mittauksia voidaan sopivan ohjelmiston avulla käyttää kuntoilijan edistymisen mittaukseen ja paikkatiedon perusteella voidaan myös arvioida liikkeiden oikeaoppisuus. Kuntolaitteilla tehtävissä liikkeissä liikeradat voivat voimien ehtyessä helposti jäädä vajaiksi, jolloin kuntoilun tehokkuus laskee.

Sähkömoottoria käytettäessä myös vastuksen määrää kesken liikkeen voidaan muuttaa. Tämä antaa mahdollisuuksia useisiin erikoistekniikoihin kuten pakkotoistot ja negatiiviset toistot. Pakkotoistossa kuntoliike suoritetaan perinteisesti avustajan avulla loppuun asti, vaikka voimat ovat jo loppuneet. Pyörimisnopeuden mittauksella voidaan vastusta hiljalleen keventää nopeuden lähestyessä pysähtymistilaa.

Negatiivisissa toistoissa puolestaan vastustetaan painon putoamista lattialle, vaikka voimat eivät riittäisikään painon ylös nostamiseen. Yleensä liike suoritetaan vapailla painoilla ystävän avustuksella. Sähkömoottorilla tämän toteuttaminen on hyvin yksinkertaista toteuttaa. Ylöspäin suuntautuvassa liikkeessä vastus voi olla pienempi kuin alaspäin suuntautuvassa.

Sähkömoottorin käyttö on mahdollista myös muissa kuntolaitteissa. Moottorin yhdistäminen esimerkiksi soutulaitteen tai kuntopyörän vastusmekanismiksi on mahdollista. Lopullista tuotetta suunniteltaessa olisi mahdollista ajatella myös tuoteperhettä, johon voisivat kuulua kuntolaite, soutulaite ja kuntopyörä. Moottorimoduulit voisivat olla yhdistettävissä näihin kaikkiin.

3.4 Mekaniikkakonseptit

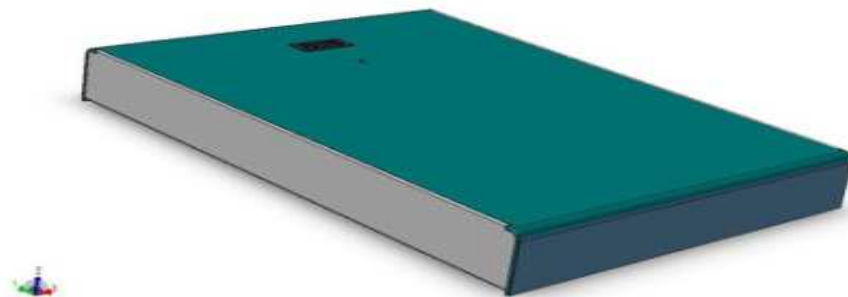
Opinnäytetyön ensimmäisessä vaiheessa laitteesta tehtiin erilaisia konsepteja. Konsepteja suunniteltaessa pidettiin mielessä myös sivulla 9 taulukossa 1 esitetyt vaatimukset ja toivomukset laitteen ominaisuuksista. Konsepteja alettiin miettiä aluksi valmismenetelmän pohjalta. Valmistusmenetelmistä konseptivaiheessa valittiin ruiskupuristettu malli, ohutlevystä taivutettu malli, putkirunkoinen

malli ja näiden yhdistelmiä. Kuvassa 3 on ruiskupuristamalla valmistetun kuntolaitteen rungon konsepti. Ruiskupuristamalla valmistetun tuotteen suuri kustannus on muotin valmistaminen. Prototyypin valmistus pikamallilaitteella ei olisi mahdollista laitteen suuren koon vuoksi.



KUVA 3. Ruiskupuristettu malli

Rungon valmistaminen ohutlevymenetelmällä on myös mahdollista. Ohutlevymenetelmällä prototyyppi olisi mahdollista valmistaa samalla menetelmällä kuin sarjatuotettu laite. Ohutlevymenetelmällä valmistettu malli on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Ohutlevymenetelmällä valmistettu malli

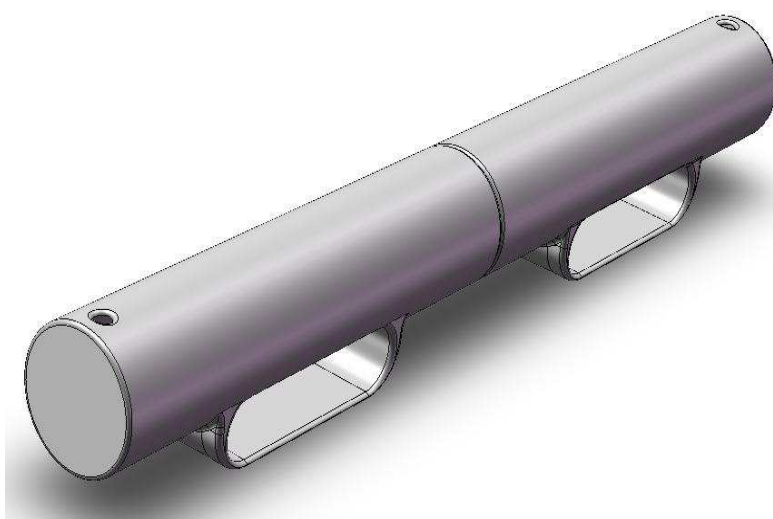
Kuntolaitteen valmistusta mietittiin myös yhdistämällä eri valmistusmenetelmiä. Yksi konsepti oli taivutettujen putkien ja ohutlevymenetelmän yhdistäminen. Kuvassa 5 on ehdotus putkirunkoisesta konseptista.



KUVA 5. Putkirunkoinen malli

Konseptisuunnittelun alkuvaiheessa laitteen rungon muodon rajoitukset ja puutteet kävivät ilmi. Rungosta tulisi suurikokoinen ja myös väistämättä painava. Myös työstettäviä osia tulisi runsaasti. Materiaalikustannukset olisivat suuren koon vuoksi huomattavat.

Konseptivaiheen yhdeksi ehdotukseksi päätettiin lisätä alumiiniputken sisään rakennettu mekaniikka, johon liitetään erilliset jalkatuet. Vaatimuslistan kaikkia vaatimuksia rakenne ei toteuta, mutta rakenteella päästään hyvin yksinkertaiseen valmistusmenetelmään. Prototyypin valmistuskustannukset saataisiin pidettyä pieninä ja prototyypin valmistaminen olisi helpompaa. (Kuva 6.)



KUVA 6. Alumiiniputken sisään rakennettu mekaniikka

Ensimmäisessä väliraportointivaiheessa ohjausryhmän kanssa päätettiin mekaniikkasuunnittelussa jatkokehitettäväksi valita alumiiniputken sisään rakennettu mekaniikka. Putkirakenteeseen päätettiin lisätä myös modulaarinen rakenne. Modulaarisella rakenteella laitteeseen voitaisiin lisätä moottoreita ja myös veto-
kohdan paikkaa voitaisiin muuttaa keskeltä sivuille.

Prototyypin avulla tutkittaisiin laitteen rakenteen toimivuutta ja käyttömukavuutta. Prototyyppi suunniteltaisiin siten, että moottorit voitaisiin jatkokehityksessä vaihtaa. Prototyypin runko valittiin standardiputkesta ja putken halkaisija valittiin riittävän suureksi, jotta putken sisälle saadaan sovitettua tarvittaessa halkaisijaltaan suurempia moottoreita.

4 TASAVIRTAMOOTTORI JA MOOTTORINOHJAUS

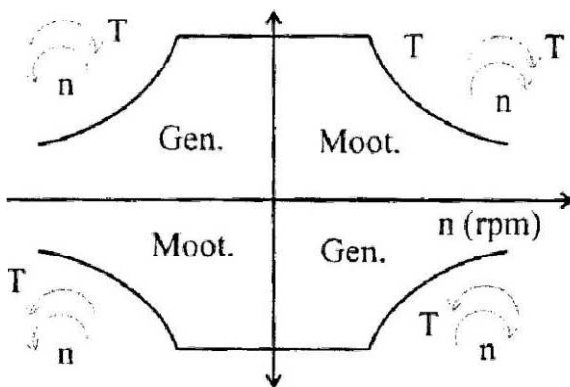
Nykyisessä prototyypissä käytetään Dunkermotorin valmistamia harjallisia tasavirtamoottoreita. Moottoreita ohjataan pulssinleveysmodulaatioon perustuvalla moottorinohjaimella ja Arduino-mikrokontrollerilla. Moottorinohjain säätelee moottoreille syötettävää virtaa. Moottorille syötettävä virta on suoraan verrannollinen moottorilta saatavaan vääntömomenttiin. Vääntömomentti määrittää laitteelta saatavan vertikaalisen voiman F . Voiman suuruuteen vaikuttaa myös kelainrullan säde r . Laitteelta saatava voima F voidaan laskea kaavasta 1 (10, s.1019).

$$T = F * r$$

KAAVA 1

Moottori toimii laitteessa generaattorina ja moottorina. Käyttäjän vetäessä narua kelainrullalta, moottori jarruttaa liikettä ja päästää narua voiman ylittäessä moottorille asetetun momentin. Liikkeen suunnan vaihtuessa moottori kelaan narun takaisin kelainrullalle.

Moottorin toiminta molempiin suuntiin aiheuttaa moottorin ja ohjaimen valinnalle erityisiä kriteerejä. Moottorin ja ohjaimen täytyy pystyä nelikvadranttikäyttöön. (Kuva 7.)



KUVA 7. Sähkömoottorin nelikvadranttikäyttö. (11, s. 23)

Laitteen toiminnan kannalta ongelmana on moottoreiden riittämätön kiihtyvyys tilanteessa, jolloin käyttäjä pudottaa tangon nopeasti alaspäin. Dynaamiset ominaisuudet riippuvat paitsi käytetyn moottorityypin ja ohjauksen ominaisuuksista.

sista, myös kuorman hitausmomenteista. Kaavasta 2 käy ilmi kuorman hitausmomentin ja moottorin ominaisuuksien vaikutus sähkömekaaniseen aikavakioon (12, s. 110).

$$\tau = \frac{RJ}{k^2}$$

KAAVA 2

τ = sähkömekaaninen aikavakio

R= moottorin käämien resistanssi

J= moottorin ja kuorman hitausmomentti

k= moottorivakio

Laitteen hitausmomentit aiheutuvat moottorin hitausmomentin lisäksi, vaihteen hitausmomentista, kelainrullan hitausmomentista ja käyttäjän aiheuttamasta kuormasta. Kiihtyvyyden riittämättömyys käy ilmi tilanteessa, jolloin käyttäjä vapauttaa tangon nopeasti alaspäin. Kelainrulla ei ehdi kelaamaan narua riittävän nopeasti sisälle. Sillä hetkellä käyttäjä ei kuitenkaan aiheuta vastusta tankoon. Kiihdytettävä massa on siinä tapauksessa kelainrullan ja narun massa.

4.1 Hiiliharjallinen tasavirtamoottori

Hiiliharjalliset tasavirtamoottorit ovat olleet jo pitkään käytössä säädettävissä sähkökäytöissä. Tasavirtamoottorin nopeutta ja vääntömomenttia voidaan helposti säätää. Nopeutta voidaan säätää ankkurijännitettä säätämällä ja samalla pitämällä magnetointivirta vakiona. Vääntömomenttia säädetään ankkurivirtaa muuttamalla ja pitämällä magnetointivirta vakiona. Hiiliharjallisten tasavirtamoottoreiden huonoina puolina voidaan pitää hiiliharjojen mekaanisesta kosketuksesta johtuvaa huollon tarvetta, kovaa ääntä ja kitkahäviöitä. (11, s. 14.)

4.2 Harjaton tasavirtamoottori

Harjattoman tasavirtamoottorin etuja ovat suurempi vähäinen huollon tarve, hiljainen käyntiäänä ja tehokkuus nopeissa servokäytöissä. Harjaton tasavirtamoottori tarvitsee aina anturin roottorin asennon tunnistamiseen. Rakenteeltaan harjaton tasavirtamoottori ja vaihtovirtaservomoottori ovat hyvin samanlaiset.

Harjattomien moottoreiden ohjaus toimii elektronisella kommutoinnilla. Anturi tunnistaa roottorin asennon ja moottorinohjain ohjaa moottoria anturitiedon perusteella. (13, s. 45 - 54.)

Rakenteeltaan harjattomissa tasavirtamoottoreissa ja vaihtovirtaservomoottoreissa staattori on ulkokehällä moottorin rungossa ja roottori on kestopagnetoitu. Harjattomien moottoreiden etuina ovat myös lämmönjohtuminen suoraan moottorin rungon kautta ympäristöön. Hiiliharjallisissa moottoreissa lämmön johtaminen pois moottorin rakenteesta on huomattavasti vaikeampaa. (13, s. 51.)

Laitteen runko on itsessään sopiva moottorin integroimiselle rakenteen sisään. Harjattomia tasasähkömoottoreita on saatavilla myös staattori/roottori-paketteina. Staattori kiinnitetään suoraan runkoon ahdistusliitoksena, mekaanisesti ruuveilla tai liimaamalla. Akseli kiinnitetään suoraan roottorin sisään ahdistusliitoksella. (Kuva 8.)



KUVA 8. Rungoton moottori (14)

4.3 Pyörimisnopeuden mittaus

Pyörimisnopeusantureita käytetään pyörivän liikkeen mittaukseen. Yleisimmin mitataan sähkömoottorin tai generaattorin pyörimistä akselilta. Yleisimmät pyörimisnopeuden mittaukseen käytettävät anturi ovat takometrit ja pulssianturit. Takometri mittaa pyörimisnopeuden siihen kiinnitetystä akselista. Takometri on pieni generaattori, joka ilmoittaa pyörimisnopeuden tuottamansa jännitteen avulla. (13, s. 130.)

Optisen pulssianturin tuottama viesti on joukko pulsseja. Pulssien määrää lasketaan laskurilla, pulssien määrästä aikayksikköä kohden saadaan laskemalla pyörimisnopeus. Pulssianturissa moottorin akselille kiinnitetty reikälevy pyörii diodin ja foto-diodin välissä. Valon läpäistessä reikälevyn aukon kohdalta, tuottaa foto-diodi joukon pulsseja. (13, s. 130.)

Hall-anturilla toimiva pyörimisnopeuden mittaustapa perustuu magneettikentän muutokseen. Hall-anturi pyörimisnopeuden mittauksessa mittaa hammastetun rautalevyn pyörimistä Hall-anturin magneettikentän vaikutusalueella. Hall-anturin jännite vaihtelee hammastetun levyn pyöriessä. (13, s. 132.)

5 KUNTOLAITTEEN MALLINNUS

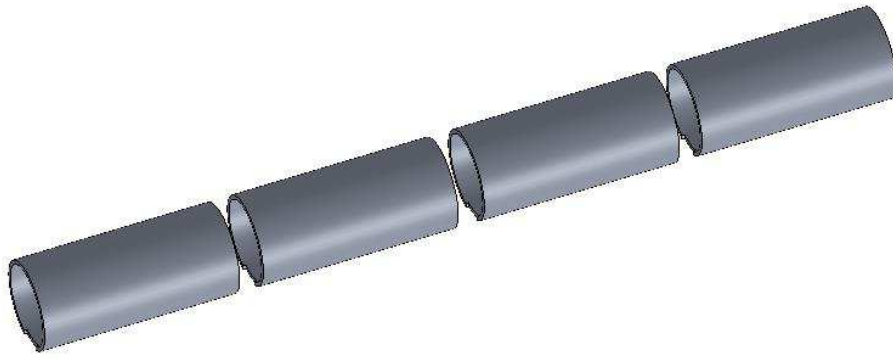
Kuntolaitteen mallinnus suoritettiin Dassault systemesin Solidworks mekaniikkasuunnitteluohjelmistolla. Solidworks on parametrinen 3D-mekaniikkasuunnitteluohjelmisto. Parametrinen piirremallinnus tarkoittaa sitä, että mallin kytkettyjä mittoja voidaan muuttaa mallinnuksen missä vaiheessa tahansa mallin geometrian siitä kärsimättä. Usein mallinnuksen alkuvaiheessa mallin kaikki mitat eivät ole tarkentuneet.

Solidwork-ohjelmassa kokoonpano voidaan muodostaa kolmella menetelmällä. Bottom-Up-menetelmässä osat mallinnetaan erikseen ja sidotaan toisiinsa kokoonpanossa. Menetelmä sopii malleille, joissa käytetään ainoastaan standardiosia tai osat tehdään eri tekijöiden toimesta. Top-Down-menetelmässä osat mallinnetaan kokoonpanossa perusosan ympärille. Muiden osien geometriaa voidaan hyödyntää mallinnuksessa. Hybrid-menetelmässä hyödynnetään molempia menetelmiä. Osa osista mallinnetaan erikseen tai tuodaan standardiosina valmiina malleina. Osa mallinnetaan myös kokoonpanossa hyödyntäen muiden osien geometriaa. Hybrid-menetelmä on kokoonpanostrategioista luonnollisin, koska yleensä laitteissa on valmiita standardiosia ja itse mallinnettuja osia.

Solidworksillä voidaan mallintaa laite käyttämällä kytkettyä mitoitusta. Kytkeytyllä mitoituksella voidaan yhtä mitta vaihtamalla vaikuttaa muidenkin osien mittoihin. Kytkeytyä mitoitusta hyödynnetään erityisesti, jos laitteen mitat voivat muuttua jatkossa valmistuksellisista tai muista syistä. (15. s. 135.)

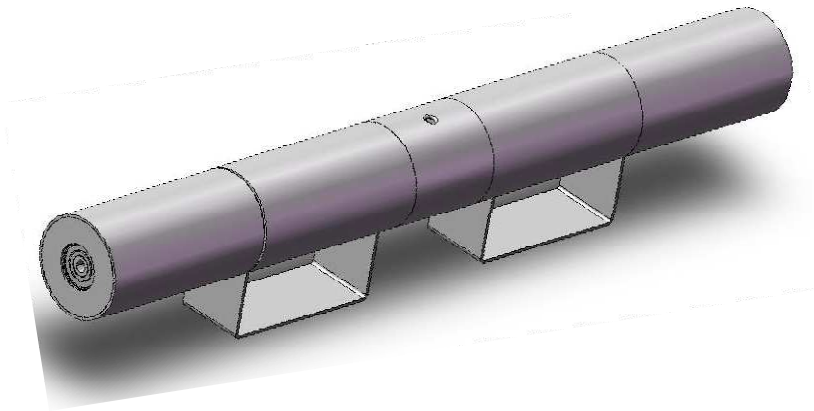
5.1 Laitteen runko

Mekaniikkasuunnittelussa lähtökohtana olivat prototyypin helppo valmistettavuus. Erityisesti koneistettavien osien määrä tulisi pitää vähäisenä ja osat tulisivat olla mahdollisimman helposti valmistettavissa. Laitteen rungon lähtökohtana oli putkirakenne ja laitteen modulaarisuus. Laitteen runko suunniteltiin jaettavaksi osiksi, joita voitaisiin liittää toisiinsa. (Kuva 9.)



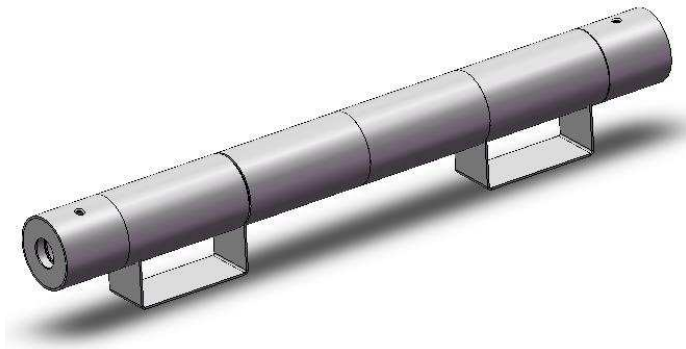
KUVA 9. Modulaarisen runkorakenteen hahmotelma

Jalkatukien ja vetokohtien sijaintia voitaisiin muuttaa. Laitteelta saatavaa voimaa voidaan myös lisätä moottoreita lisäämällä. Tarvittaessa laitteeseen voitaisiin lisätä toinen kelainyksikkö ja lisämoottoreita. Kuvassa 10 on alustava 3D-malli, jossa vetokohta on laitteen keskellä ja laitteeseen on kytketty neljä moottoria.



KUVA 10. Vetolaitte keskellä

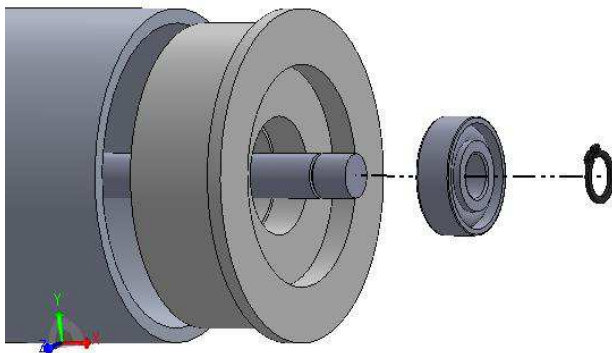
Kuvassa 11 on laitteen alustava hahmotelma, jossa kaksi vetolaitetta on sijoitettu laitteen molempiin reunoihin ja keskelle on sijoitettu neljä moottoria.



KUVA 11. Vetolaitteet molemmilla reunoilla

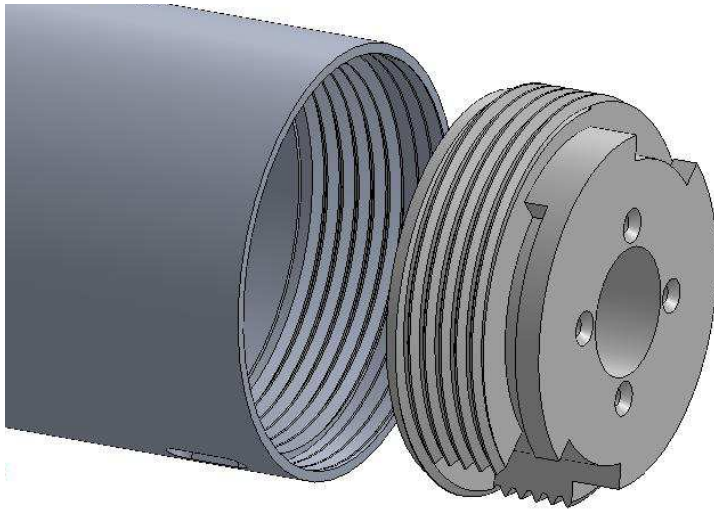
5.2 Putkimoduulien päätylaippa

Putkimoduulit tulee saada kiinnitettyä toisiinsa luotettavasti. Laitteen putkiosien liitososan tulisi estää liike putken suuntaisesti, putken kiertyminen sekä pidettävä putket luotettavasti kiinni toisissaan. Osatoiminnoille ideoitiin ratkaisuvaihtoehtoja. Ratkaisuvaihtoehtoista toteuttamiskelpoisimmiksi osoittautuivat seuraavat kolme osaratkaisua. Kuvassa 12 on esitetty kiinnitysvaihtoehto 1, jossa kiinnitys tapahtuu akseliin koneistetun uran ja lukitusrenkaan avulla.



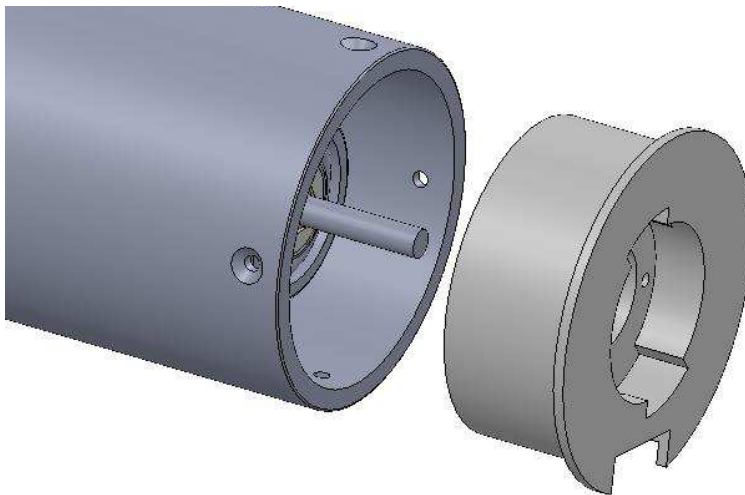
KUVA 12. Päätylaipan kiinnitysvaihtoehto 1

Kuvassa 13 on esitetty kiinnitysvaihtoehto 2, jossa päätylaipan ulkopintaan ja putken sisäpintaan on koneistettu kierre. Osaratkaisun huonona puolena on osien koneistustarve ja kierteen välys joka aiheuttaa välyksen myös akselille.



KUVA 13. Päätylaipan kiinnitysvaihtoehto 2

Osatoiminnon ratkaisuvaihtoehto kolme on yksinkertaisin toteuttaa. Ratkaisun huonoina puolina voidaan pitää ruuvien jäämistä näkyville sekä putkien väliin jäävää näkyvää osaa päätylaipasta. Prototyypissä, jonka tärkein tehtävä on prototyypin toiminnallisuuden tutkiminen, voidaan kuitenkin ulkonäköön liittyvät seikat jättää vähemmälle huomiolle. (Kuva 14.)

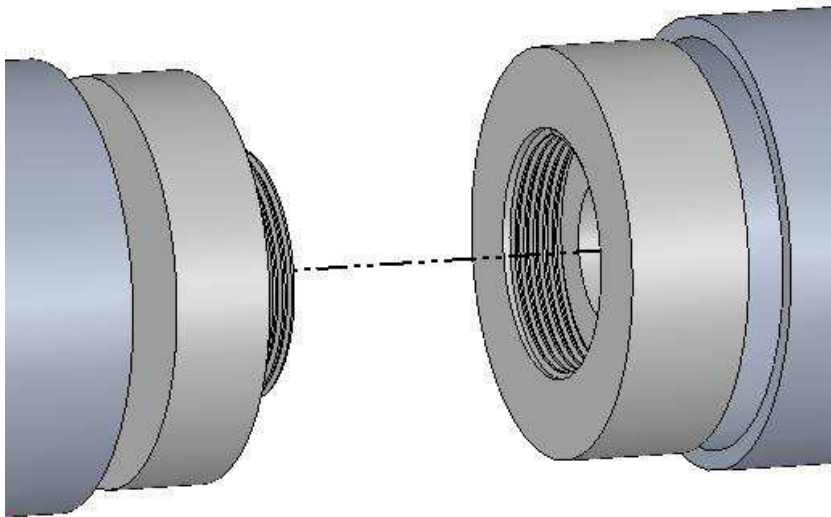


KUVA 14. Päätylaipan kiinnitysvaihtoehto 3

5.3 Putkimoduulien liitos

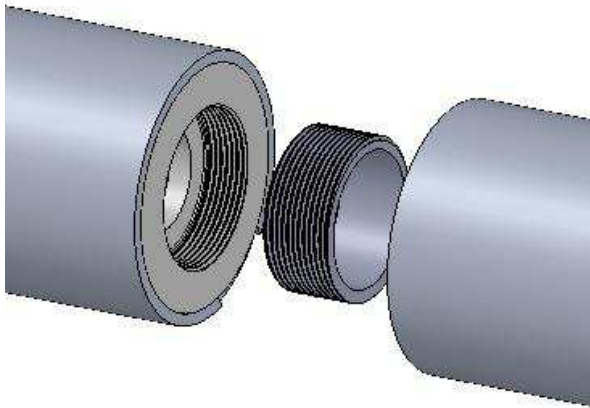
Putkimoduulien liitos toisiinsa on tarkoitettu käyttäjän usein tehtäväksi. Moduuleita siirtämällä saadaan laite toimimaan, joko keskeltä yhdellä vetokohdalla toimivaksi tai molemmilta reunoilta toimivaksi kahdella vetonarulla.

Osatoiminnoille ideoitii ratkaisuvaihtoehtoja. Kuvassa 15 on esitetty liitosvaihtoehto 1, jossa päätylaippoihin on koneistettu kierteet. Toisessa on ulkokierre ja toisessa sisäkierre. Ratkaisun huonona puolena joudutaan tekemään kaksi erilaista päätylaippaa.



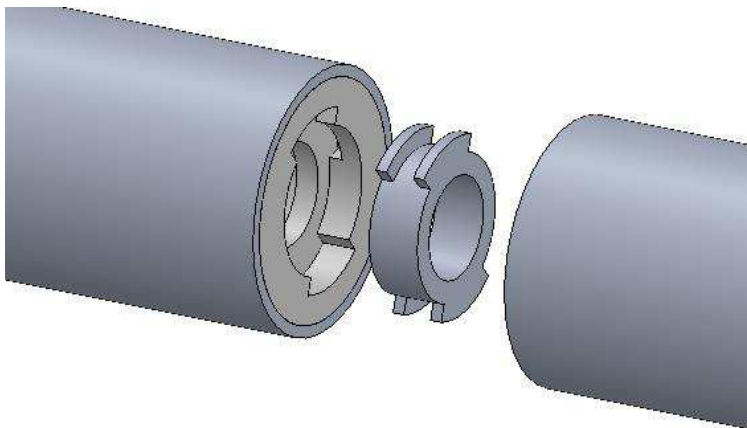
KUVA 15. Moduulien liitosvaihtoehto 1

Kuvassa 16 on esitetty liitosvaihtoehto 2, jossa liitoskappaleena toimii kierreholkki, johon on koneistettu ulkokierre. Päätylaippoihin on koneistettu sisäkierre ja kaikki päätylaipat ovat samanlaisia.



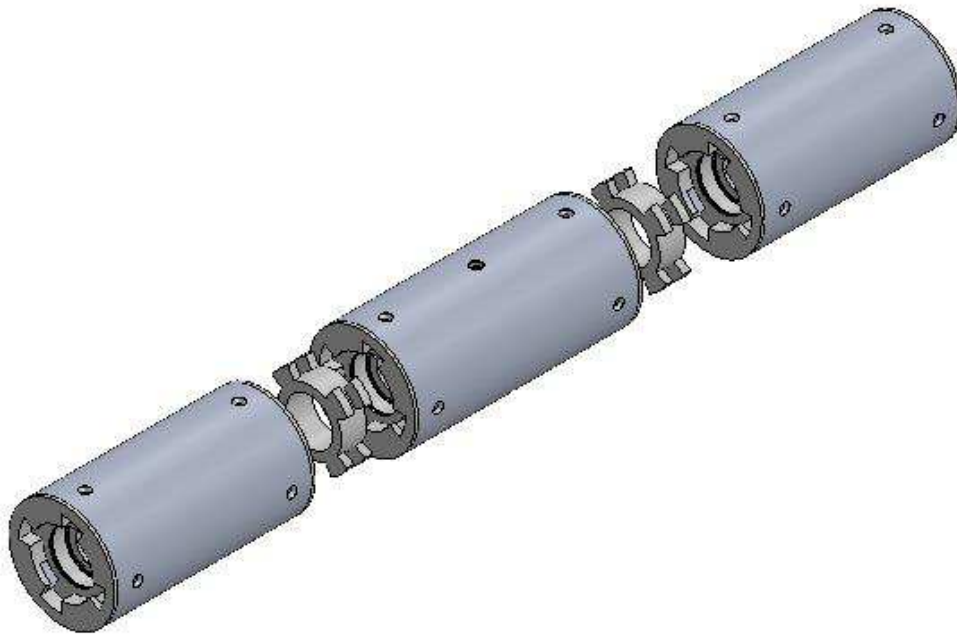
KUVA 16. Moduulien liitosvaihtoehto 2

Kuvassa 17 on esitetty pikamallinnuksella valmistettu muovinen liitosholkki. Ratkaisuun päädyttiin, koska osien valmistus on helpompaa ja käyttäjän kannalta liitos on nopeampi avata ja sulkea. Ratkaisuvaihtoehdon etuna on myös se, että kappaleen valmistus myös ruiskupuristusmenetelmällä on mahdollista.



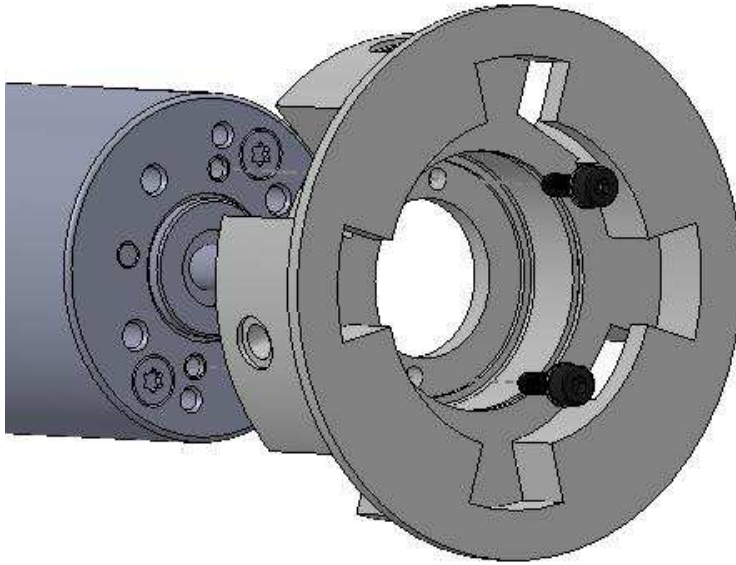
KUVA 17. Moduulien liitosvaihtoehto 3

Prototyyppiin päätylaipat ja liitosholkki valmistetaan pikamallikoneella. Lopullisessa tuotteessa valmistusmäärien ollessa suuria on todennäköisesti ruiskuvalu valmistusmenetelmänä edullisin. Työssä yritettiin pohtia valmistettavien osien suunnittelua myös siten, että pienillä muutoksilla osat voitaisiin valmistaa myös ruiskuvalumenetelmällä. Kuvassa 18 on esitetty putkimoduulien liitososat.



KUVA 18. Putkimoduulien liitososat

Kuvassa 19 esitetään moottorin kiinnitys päätylaippaan. Moottorin vaihtaminen jatkokehityksessä on mahdollista myös moottoriin, jonka halkaisija on suurempi kuin nykyisten moottoreiden. Moottori on mahdollista kiinnittää myös laitteen runkoputkeen sopivalla menetelmällä. Kaikissa päätylaipoissa on laakeripesä, joten moottorin vaihtaminen integroituun moottoriin on myös mahdollista. Laakeri valittiin mitoiltaan riittävän suureksi, jotta erilaisten moottoreiden liittäminen rakenteeseen olisi mahdollista.

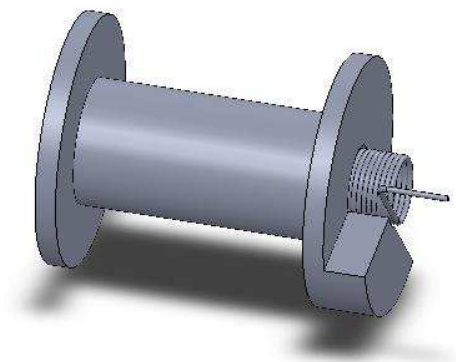


KUVA 19. Moottorin kiinnitys päätylaippaan

5.4 Kelain

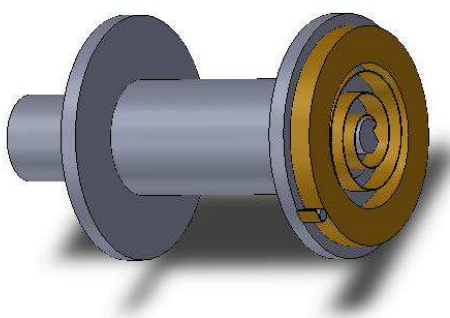
Voima moottorilta käyttäjälle siirretään kellarullan kautta. Edellisen prototyypin ongelmana oli palautusnopeus liikkeen suunnan vaihtuessa liikkeen ylimmässä kohdassa. Kelainrullalla joudutaan tekemään nopeita nopeudenmuutoksia ja suunnanvaihdoksia liikkeen aikana. Kelainrullan tulisi olla hitausmomentiltaan mahdollisimman pieni, jotta moottorin dynaamiset ominaisuudet pysyvät hyvinä.

Kelainrullaan olisi hyvä yhdistää myös palautusjousella pieni joustovara liikkeen ongelmakohdassa, eli liikkeen yläpysähdyskohtaan saadaan jousella esijännitys, joka auttaa kelaamaan narua nopeasti takaisin kelalle. Jousipalautus toimisi ainoastaan apuna nopeuttamassa palautusliikettä liikkeen suunnan vaihtuessa. Toteutuskelpoisimmiksi vaihtoehtoiksi jäivät joko vääntöjousen tai spiraalijousen käyttäminen palautusmekanismeina. Kuvassa 20 on esitetty luonnos vääntöjousen käytöstä palautinmekanismina. Luonnoksessa on myös hahmoteltu pysäytinmekanismia, jolla jousi toimii palautuksen apuna ainoastaan liikkeen alkuvaiheessa pienellä voimalla narua vedettäessä.



KUVA 20. Vääntöjousimekanismi

Kuvassa 21 on esitetty luonnos spiraalijousen käytöstä kelaimen palautusmekanismina. Spiraalijousimekanismissa voima tulee kokonaisuudessaan jousen varaan.



KUVA 21. Spiraalijousimekanismi

Jousimekanismi pitää suunnitella niin, että jousen avulla avustetaan palautusliikettä. Moottorilta saatava momentti ei voi kuitenkaan kokonaisuudessaan tulla jousen varaan. Jousen kiertämiseen käytettävän voiman täytyy olla riittävän pieni, jotta jousi on toiminnassa pienilläkin vastusvoimilla. Kuvassa 22 vääntöjousimekanismi on sijoitettu akseliliitoksen yhteyteen. Vääntöjousimekanismi voidaan tarpeettomana poistaa ja korvata jäykällä akseliliitoksella.



KUVA 22. Vääntöjousimekanismi pysäyttimellä

Vääntöjousella saatava palautusmatka pystysuorana liikkeenä saadaan vääntöjousen palautuksesta asteina ja ympyrän piirin kaavasta.

Jousen suurin kiertymä on 300 astetta. Kierroksina 300 astetta saadaan lasketua kaavasta 3.

$$P_1 = \frac{300}{360} = 0,833$$

KAAVA 3

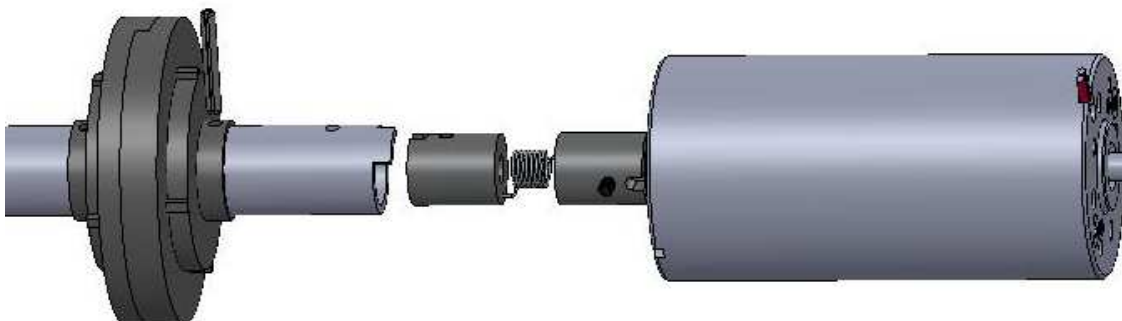
Kaavalla 4 lasketaan ympyrän piiri (10, s. 24).

$$P = \pi * D$$

KAAVA 4

Akselin halkaisijan ollessa 25 mm ja kiertymän ollessa 0,833 kierrosta. Laske-
malla saadaan jousen avulla tapahtumaksi palautusmatkaksi noin 66 mm.

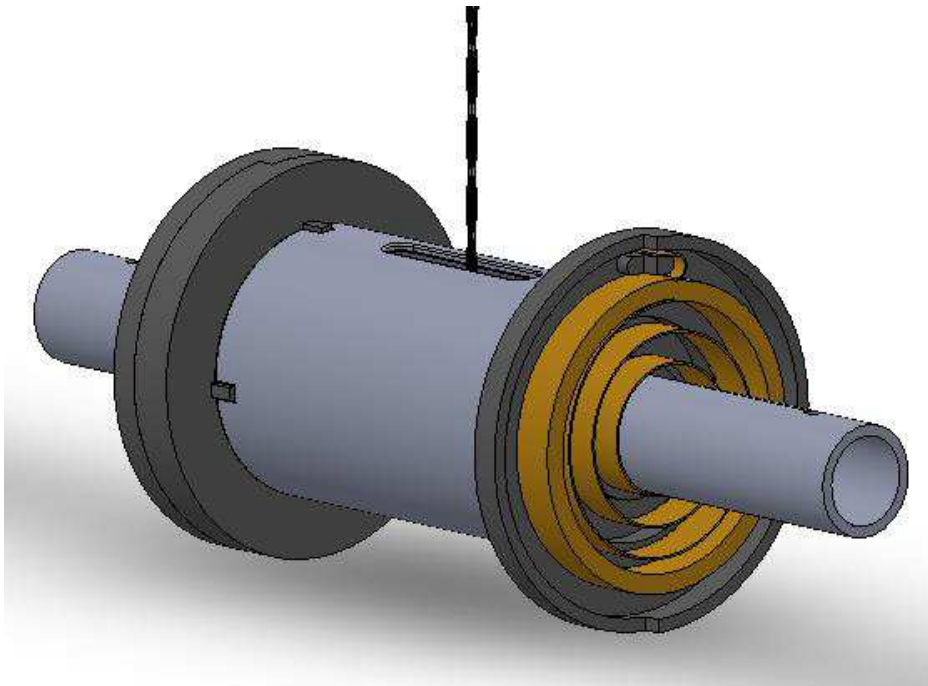
Vääntöjousimekanismia muokattiin ja osia yhdisteltiin, jotta rakenne saatiin
mahdollisimman yksinkertaiseksi. Kuvassa 23 on esitetty valmis vääntöjousi-
mekanismi.



KUVA 23. Lopullinen vääntöjousimekanismi

Spiraali-jousen avulla toimivan palautuksen saaminen riittävän yksinkertaiseksi toteuttaa osoittautui vaikeammaksi. Jousen etuna on se että palautusta saadaan tarvittaessa useampi kierros. Kelainrullalle on tehtävä lukitusmekanismi, jolla suurella voimalla narusta vedettäessä, kelain lukittuu akseliin kiinteästi, jolloin rasitus ei tule jousen varaan. Riittävän maksimi momentin kestäviä spiraali-jousia löytyy, mutta niissä myös ensimmäisen kierroksen aikainen momentti on hyvin korkea. Tämä tarkoittaa, että laitteen minimi vastus olisi n. 4 - 6 kg. Pienemmällä vastuksella jousi ei olisi toiminnassa.

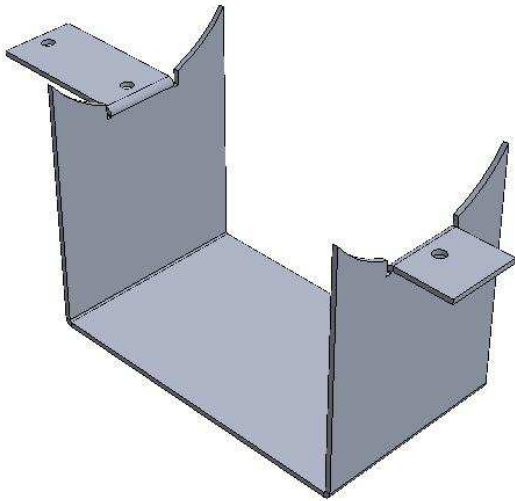
Testattavaksi vaihtoehdoksi valikoitui kahden akseliputken käyttäminen. Naru kiertyy jousivoimalla halkaisijaltaan suuremman putken ympärille. Vetovoiman ollessa suurempi kuin jousivoima, naru menee suorana putkessa olevan reiän lävitse sisemmän putken kiinnitykseen. Moottorin pyöriessä kelautuu naru sisemmän putken ympärille. (Kuva 24.)



KUVA 24. Spiraali-jousimekanismi

5.5 Jalkatuet

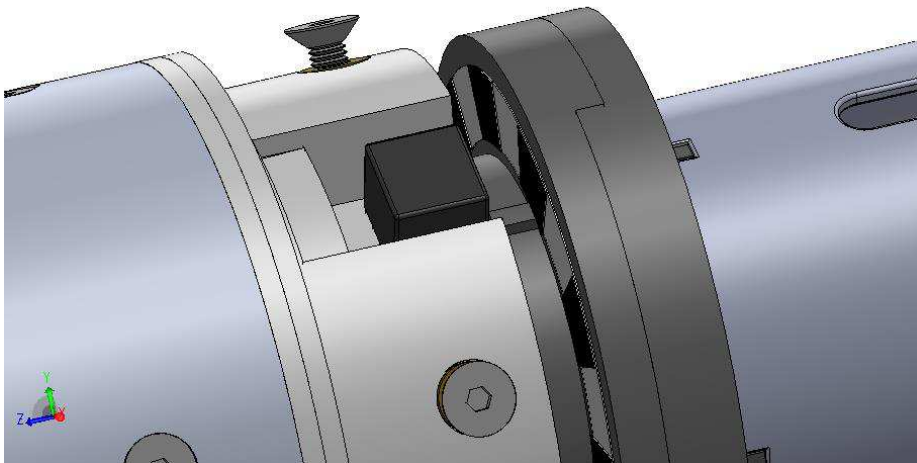
Jalkatuet päätettiin valmistaa taivuttamalla ohutlevystä. Levyyn porataan reiät putkimoduulia vastaavien reikien kohdalle. Putkimoduulien kiertyminen toisiinsa nähden estetään ruuviliitoksilla. (Kuva 25.)



KUVA 25. Jalkatuki taivutetusta ohutlevystä

5.6 Pyörimisnopeuden mittaus

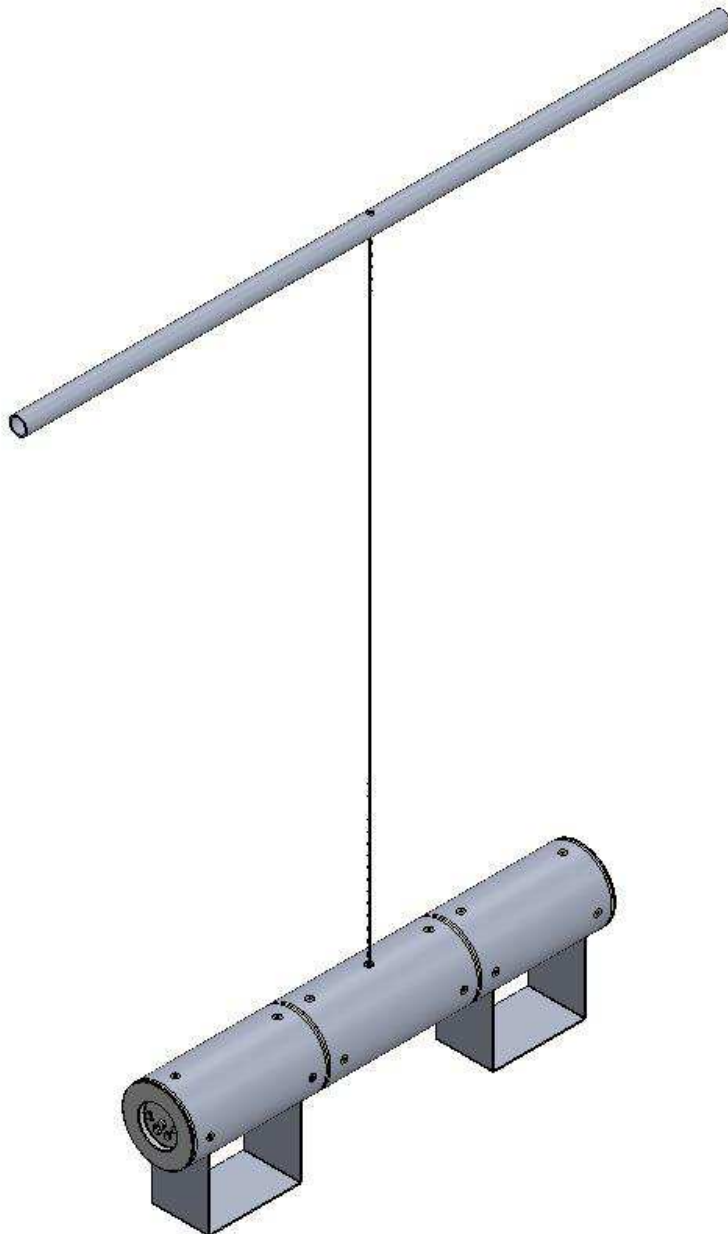
Pyörimisnopeuden mittaamiseen käyttökelpoiseksi anturiksi valikoitui heijastava pintaan lukeva pulssianturi. Rakenteeseen on helpompaa liimata heijastava anturikiekko, erillisen reikäkiekon sijaan. Reikäkiekkoa varten osat olisi pitänyt erikseen valmistaa ja kiinnittää akselille. Sopivaa tilaa rakenteessa ei myöskään erilliselle anturikiekolle ollut. Antureille oli myös helppo suunnitella kiinnitys pikamallinnuksella valmistettavaan päätylaippaan. (Kuva 26.)



KUVA 26. Anturin kiinnitys ja liimattava anturin heijastinpinta

5.7 Mallinnuksen tulokset

Kuntolaitteesta saatiin mallinnuksen tuloksena laitteen 3D-malli. Kuvassa 27 on esitetty valmiin laitteen kuva. Pääkokoonpanopiirustus löytyy liitteestä 2. Kelainmoduuli ja moottorimoduuli mallinnettiin erillisinä alikokoonpanoina. Kelainmoduulin kokoonpanopiirustus löytyy liitteestä 3 ja moottorimoduulin kokoonpanopiirustus löytyy liitteestä 4.



KUVA 27. Kuntolaitteen 3D-malli

6 SARJAVALMISTUSMENETELMÄT JA MALLIEN KEVENNYS

6.1 Ruiskuvalutekniikka

Tuotteen valmistusmäärää vaikuttaa valittavaan valmistusmenetelmään merkittävästi. Yksittäisen tuotteen valmistushinta pyritään saamaan mahdollisimman alhaiseksi. Tuotteen valmistuskustannuksia saadaan pienennettyä valitsemalla valmistusmäärään sopiva valmistusmenetelmä. Osan kokoa ja materiaali-menekkiä voidaan optimoida. Osien määrät pyritään pitämään mahdollisimman vähäisinä liittämällä usean osan toimintoja yhteen osaan. (2.)

Ruiskuvalutekniikka on suurten sarjojen tuotantomenetelmä. Menetelmällä saadaan mittatarkkoja ja viimeistelyjä tuotteita. Ruiskuvalutekniikalla saadaan usein valmis tuote. Ruiskuvalutuotteen suunnittelussa on otettava huomioon muotin ja valun menetelmänä aiheuttavat rajoitukset suunnittelulle. Tuotteen pinnat on suunniteltava siten, että tuotteen saa irtoamaan muotista. Tuotteelle on tyypillistä pyöristykset ja tasapaksu rakenne. (2.)

6.2 Ohutlevykappaleen suunnittelu

Ohutlevytuotteeksi voidaan määritellä metallilevyt, jotka ovat ainevahvuudeltaan alle 3 - 4 millimetriä. Ohutlevytuotteissa käytetyt rakenneratkaisut sopivat kuitenkin myös ainevahvuudeltaan suuremmillekin levymateriaaleille. Ohutlevyjen suunnitteluohjeet ovat siten samankaltaisia kuin muissakin levykappaleissa. (16, s. 3.)

Ohutlevytuotteen taivutus on yleisesti käytetty menetelmä ohutlevyjen muotoiluun. Taivutusmenetelmiä ovat taivutus taivutuskoneella, särmäys ja taivutus taivutusautomaatilla.

Taivutuskoneella levy kiinnitetään puristamalla pöydän ja puristuspalkin väliin. Taivutus tapahtuu kääntämällä puristetun pinnan ulkopuolelle jäävää pintaa taivutuspalkilla. Menetelmä on yksinkertainen ja helposti toteutettavissa, mutta haittapuolena tuotteen pintaan voi pinnoitetuilla levyillä jäädä hankausjälkiä taivutuspalkin liukuessa pintaa vasten. (16, s. 239.)

Särmäyskone on yleisimpiä koneita ohutlevyteollisuudessa. Särmäyskoneen puristimet toimivat mekaanisesti, pneumaattisesti tai hydraulikan avulla. Nykyään teollisuudessa käytetyt särmäyskoneiden vastetyökalut ja puristussyvyys ovat numeerisesti ohjattuja ja toimivat servomoottoreilla. (16, s. 240.)

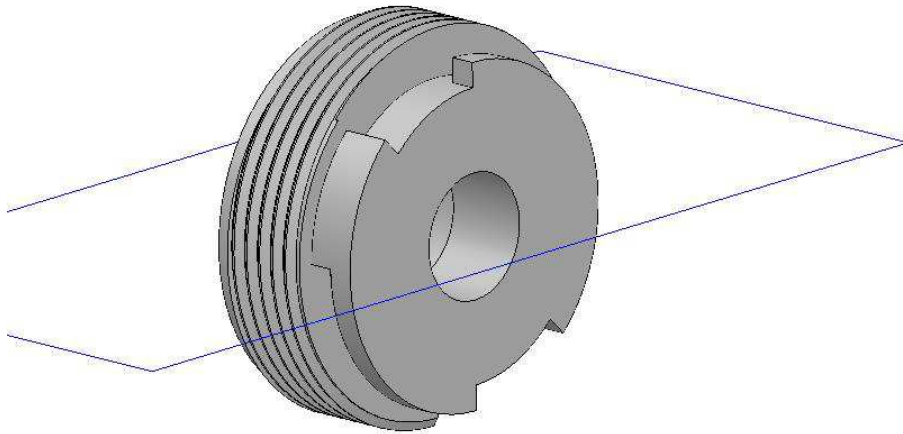
Särmättävän kappaleen suunnittelussa on huomioitava taivutusvoima, takaisinjousto ja aihiossa tapahtuvat mittojen muutokset. Taivutusvoimaan vaikuttavat särmättävän kohdan pituus, materiaalin vahvuus ja materiaalin vetomurtolujuus. Muita vaikuttavia seikkoja hyvään särmäykseen ovat käytetyt työkalut ja haluttu taivutuskulma. Suunnittelija voi vaikuttaa huomioimalla alatyökalussa käytetyn v-aukon leveyteen. V-aukon leveys voidaan nyrkkisääntönä määrittää 8 kertaa levynpaksuiseksi. (16, s. 242 - 243.)

Taivutuskoneella ja särmäyskoneella kappaletta voidaan irrottamatta kiinnityksestä taivuttaa vain yhteen suuntaan. Taivutusautomaatilla kappaletta voidaan taivuttaa ylös- ja alaspäin irrottamatta sitä levynpitimestä. Kappaletta voidaan myös kääntää, jolloin muitakin sivuja levystä voidaan taivuttaa. Taivutusautomaatilla voidaan tehdä hyvinkin monimutkaisia kappaleita. Taivutusautomaatilla valmistettavaa tuotetta suunniteltaessa on huomioitava kappaleiden reunakorkeudet. (16, s. 244 - 245.)

6.3 Pikamalliosien optimointi

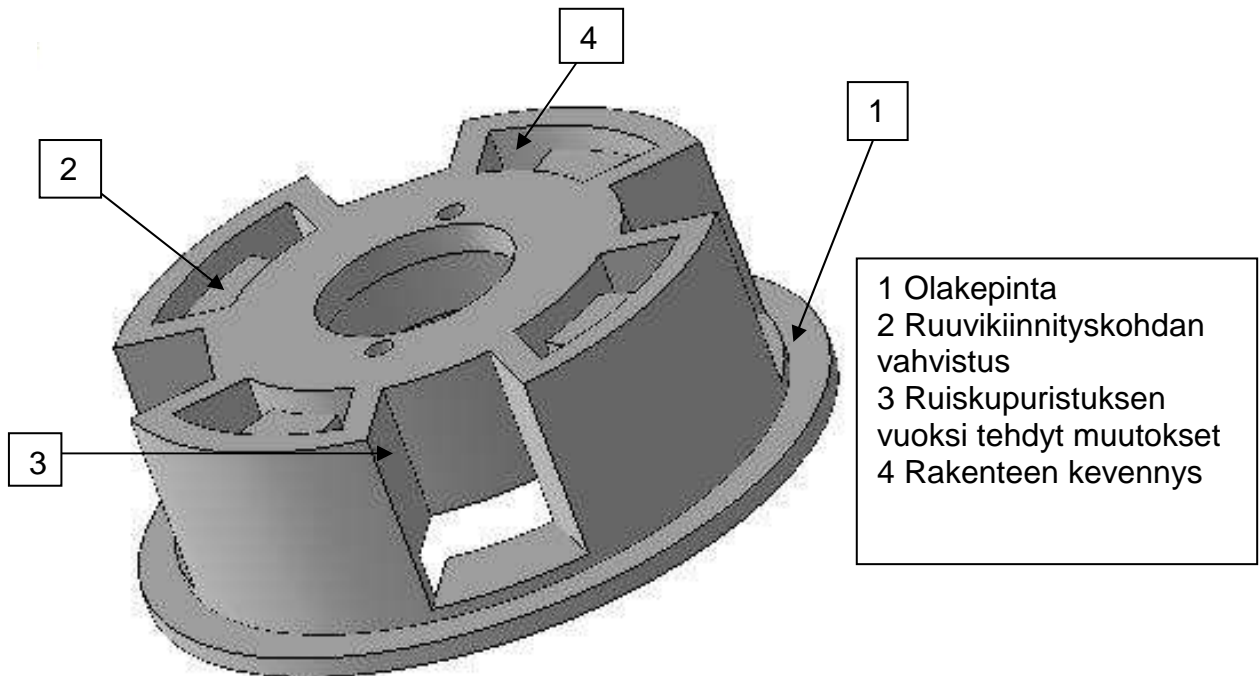
Pikamalliosien massaa kevennettiin prototyypin kustannusten laskemisen vuoksi. Pikamalliosat suunniteltiin aluksi umpinaisiksi, joten niiden massa ja valmistuskustannukset nousivat liian korkeiksi. Pikamalliosia päätettiin keventää ensimmäisestä versiosta ja samalla suunnitella myös osien valmistettavuutta sarjatuotantomenetelmillä.

Kuvassa 27 on ensimmäinen versio, jossa on suunniteltu rakennetta ruiskupuristusmenetelmää ajatellen. Jakopinta on suunniteltu kohtisuorassa laippaan ja sisäpuoliset muodot on pyritty pitämään mahdollisimman yksinkertaisina.



KUVA 27. Ensimmäinen versio päätylaipasta ja jakopinta

Seuraavassa versiossa päätylaipan kiinnitys putkeen on hoidettu putken läpi ruuveilla. Osa on helpompi valmistaa prototyyppivaiheessa ja kierteiden koneistusta ei vaadita. Osaa on kevennetty suunnittelemalla se ontoksi ja osan seinämien vahvuus on muokattu tasaiseksi eripuolilla osaa. Suunnittelussa huomiointiin myös osan valmistus ruiskupuristamalla. Kuvassa 28 on esitetty valmistettava päätylaippa ja suunnittelun kannalta keskeisiä ominaisuuksia.



KUVA 28. Valmistettava päätylaippa ja tehdyt muutokset

Pikamalliosien kevennyksen lisäksi usean osan toimintoja on yhdistetty yhteen osaan. Pikamalliosien keventäminen ja mekaniikan yksinkertaistamiseen kului-kin huomattavasti aikaa.

Pikamalliosien valmistamista pohdittiin myös muilla pikamallikoneilla sekä sili-
konivalumenetelmällä. Yhden pikamallin valmistaminen ja loppujen kopiointi
silikonivalumenetelmällä olisi ollut myös mahdollista, mutta mallien muodon
vuoksi hieman haasteellista.

Prototyypin pikamalliosien optimoinnin tulokset näkyvät taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Pikamalliosien optimoinnin tulokset

	Prototyypin 1. versio	Optimoitu versio
Pikamalliosien määrä	27	14
Erilaisia pikamalliosia	10	4
Pikamalliosien massa (g)	1735	797
Standardi osien kustannukset (€)	105	89

7 PROTOTYYPPI

7.1 Prototyypin valmistaminen

Prototyyppi suunniteltiin niin, että osien koneistaminen ja valmistaminen olisi mahdollisimman yksinkertaista ja toteutettavissa käsityökaluilla. Laitteen toimivat mekanismit sijoitettiin pääpiirteissään valmistettaviin pikamalliosiin. Pikamalliosissa osan muotojen vapaus on paljon suurempi kuin muilla menetelmillä. Osat valittiin standardiosista, jolloin tuotteiden hinnat ovat alhaisia ja tuotteiden saatavuus on hyvä. Putkina käytettiin standardimittaisia alumiiniputkia ja laakereina yleisesti varaosaliikkeistä saatavia yleismittaisia laakereita. Kuvassa 29 on nähtävissä prototyypin rungon valmistukseen käytettävät osat.



KUVA 29. Valmiita osia prototyyppiä varten

Prototyypin osiin tarvittavat koneistukset tehtiin Oamkin tiloissa. Osien koneistukset olivat lähinnä alumiiniputkien porauksia ja ohutlevyn leikkauksia ja taivutuksia. Kuvassa 30 on valmistettu prototyyppi.



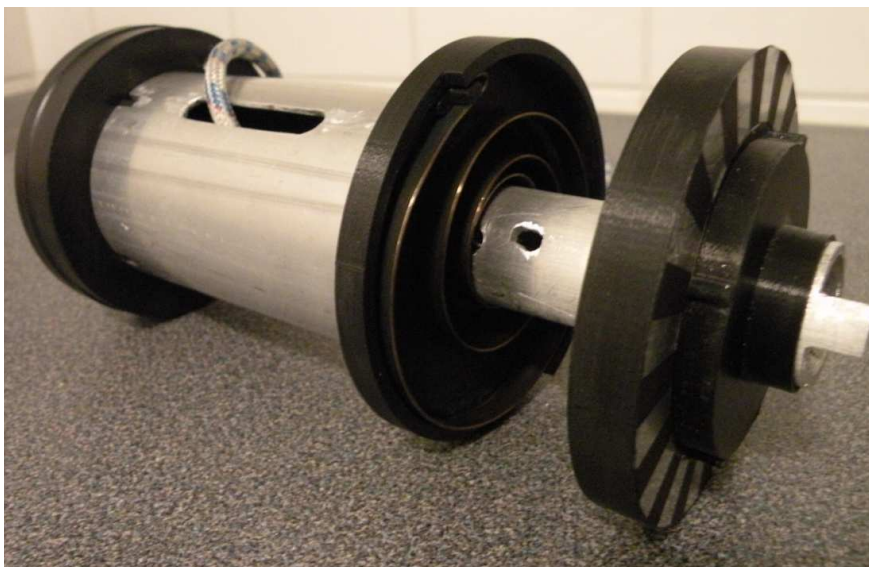
KUVA 30. Valmis prototyyppi

7.2 Prototyypin toiminta

Prototyypin toiminta ja käyttömukavuus parantuivat kelaimen paremman laakeroinnin ja pyöritettävien massojen pienentämisen ansiosta. Narun kelaaminen sisään kelaimelle toimii nopeammin verrattuna edelliseen prototyyppiin. Moottorit ja moottorinohjaus ovat samat kuin edellisessä prototyyppissä.

Prototyypin modulaarinen rakenne tuntui lyhyen testijakson aikana toimivan hyvin. Parannettavaa jäi liitososien valmistustarkkuudessa. Liitososien vällys oli liian pieni ja pikamalliosia jouduttiin työstämään käsin. Lopullisten 3D-mallien välystä kasvatettiin. Suunnittelun jatkaminen on kuitenkin nyt helpompaa, kun suunnittelun pohjana on testattava malli liitososista. Rungon putkirakenne tuntuu kokonaisuudessaan valmistuskustannusten ja toiminnan kannalta hyvältä ratkaisulta. Testausvaiheessa laitteen ergonomia ja liikeradat tuntuivat hyviltä ja luonnollisilta. Prototyypin testaukset käyttäjillä osoittavat tulevaisuudessa tarkemmin, mitä kehitettävää rungon rakenteessa on.

Prototyypin vääntäjousimekanismin toimivuus jäi hieman puutteelliseksi, koska jousen riittämätön esijännitys ei riittänyt saamaan aikaan tarpeeksi nopeaa keulausliikettä. Esijännityksen aikaansaaminen on suljetun rakenteen vuoksi haasteellista. Spiraalijousimekanismin toiminnan suunnittelussa oli tapahtunut ajatusvirhe. Spiraalijousi olisi pitänyt sisemmän akselin sijasta kiinnittää runkoputkeen, jolloin mekanismi olisi toiminut aiotulla tavalla. Mekanismin muuttaminen työn tässä vaiheessa ei ollut enää mahdollista. Kuvassa 31 näkyy jousen kiinnitys sisempään akseliin.



KUVA 31. Spiraalijousimekanismi

Prototyypin rakentaminen oli työn opettavaisin vaihe. Tietokoneella mallinnettujen mekanismien kokeilu käytännössä osoitti kuinka vaikeaa on hahmottaa mekanismin toimivuus käytännössä. Työn kannalta tärkeintä oli kuitenkin se, että

prototyypin toiminta parantui edelliseen prototyyppiin verrattuna vaikka suunniteltuja jousimekanismeja ei saatu toimimaan. Valmistettavan tuotteen kannalta mahdollisimman yksinkertainen rakenne on aina parempi.

Prototyypin nykyisilläkin moottoreilla päästiin laitteen käytön kannalta hyviin tuloksiin. Uusien moottoreiden mitoittaminen on nykyisen prototyypin testauksen jälkeen helpompaa. Mekaniikasta johtuvat epävarmuudet laitteen toiminnassa on mielestäni prototyypin testauksen perusteella poistettu.

7.3 Prototyypin kehittäminen

Prototyypin kehittäminen jatkossa tulisi mielestäni painottua moottoreiden ja moottorinohjauksen, käyttöliittymän ja käyttäjäkokemuksien arvioimiseen. Myös laajempi markkinatutkimus olisi jatkossa hyvä tehdä. Opinnäytetyöhön liittyvän lyhyen kilpailija-analyysin perusteella laitteita on hyvin monenlaisia ja uusia tuotteita liikuntateknologian alalla tulee jatkuvasti. Prototyypin perusteella olisi mielestäni myös aiheellista miettiä tuotetta myös mekaniikan kannalta laajemmin. Laitteen toimintaperiaatteen uudelleen konseptointia voisi myös miettiä. Tuotteen mekaniikkasuunnittelun aikana mieleen tuli myös muita keinoja säädettävän vastuksen aikaansaamiseen. Vastus voitaisiin saada aikaan myös säätämällä jouta tai magneettisen vastuksen avulla.

Prototyypissä jatkossa käytettävistä moottoreista riippuen myös niiden jäähdytykseen olisi syytä perehtyä testauksessa. Tällä hetkellä prototyypissä olevien moottoreiden jäähtymistä ei ole prototyypissä otettu huomioon. Prototyypissä oli alkuperäisenä ajatuksena käyttää moottoreita, joiden lämpö olisi voitu johtaa alumiinisen runkoputken kautta ympäristöön. Nykyiseen prototyyppiin voidaan tehdä tarvittaessa muutoksia, jos moottoreiden ylikuumenemista tapahtuu.

8 TUOTTEEN JATKOKEHITYS

Kuluttajille suunnattua laitetta suunniteltaessa on huomioitava tarkasti laitteen turvallisuuteen vaikuttavat seikat. Kuntolaitteiden suunnittelua varten on SFS-käsikirja SFS-EN 957-1 (17). Standardista löytyvät yleiset turvallisuusvaatimukset ja testausmenetelmät. Tuotteen jatkokehittäminen ja erityisesti moottorin ja ohjauksen edelleen suunnittelu vaatii vielä työtä. Tärkeimpiä kehitettäviä asioita ovat myös laitteen käyttöliittymä ja sovellukset. Erityisesti mittaustekniikkaan perustuvat sovellukset voisivat olla laitteen suuri etu kilpailijoihin nähden.

Prototyypin testauksen jälkeen olisi luontevaa jatkaa moottorin ja moottorinohjaimen jatkokehitystä. Moottorivalinta vaikuttaa oleellisesti seuraavan kuntolaitteen mekaniikan suunnitteluun. Laitteen mitat voivat muuttua oleellisesti pienemmiksi moottoreiden ominaisuuksista riippuen.

Tuoteperheen, itse laitteen ja laitteen sovellusten konseptointia olisi mielestäni hyvä jatkaa suuremman ja paremmilla resursseilla varustetun ryhmän kanssa. Tuoteperheeseen voitaisiin mielestäni liittää muita kuntolaitteita, kuten kuntopyörä ja soutulaite. Moottorimoduuleiden käyttö myös niiden vastavoiman tuottajana olisi mahdollista.

Sovellusten kehittämisessä olisi mielestäni suurin haaste ja myös eniten mahdollisuuksia keksiä uusia ja paremmin käyttäjää palvelevia liikuntateknologisia palveluja. Myös niiden kehittämisessä suuri ryhmä ja avoimet mielet yhdistettynä voisivat löytää selvän tavan erottautua kilpailijoiden tuotteista. Myös Jyväskylän yliopiston Sedospo-hankkeen tutkimus osoittaa käyttäjien tyytymättömyyden nykyisten liikuntateknologisten laitteiden käyttöliittymiin ja laitteiden tuottaman tiedon ymmärrettävyyteen (6).

9 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli ideoida konsepteja kuntolaitteesta, tehdä 3D-malli laitteesta, valita sopiva valmistusmenetelmä kuntolaitteelle ja valmistaa laitteen prototyyppi. Työn pohjatietona oli projektista aiemmin tehty opinnäytetyö ja laitteesta rakennettu prototyyppi (1). Työn alussa määritellyt alkuehdot laitteen ulkoasulle ja saatu mekaniikka muuttuivat opinnäytetyön kuluessa hieman.

Haasteita työssä tuottivat työn laajuus ja kustannusten pitäminen riittävän alhaisina. Haastavinta suunnittelussa oli laitteen vielä avoimet käyttölaitevalinnat. Prototyyppi suunniteltiin siten, että komponenttien vaihtaminen jatkokehityksessä olisi mahdollista ilman suuria muutoksia mekaniikkaan. Työn tuloksena saatu prototyyppi on mielestäni onnistunut ja laitteen toimintojen testaukseen sopiva. Prototyypin testauksen perusteella seuraava versio laitteesta on huomattavasti helpompi suunnitella. Prototyypin toiminta antoi myös vastauksia laitteen moottoreiden mitoitukselle. Monet mekaniikan toteutuksista olivat sellaisia, että ainoa mahdollisuus todeta niiden toimivuus ovat käytännön kokeilut.

Toivon, että tämä työ toimii osaltaan apuna kehitettäessä tuotantoon sopivaa mallia esitetyllä toimintaperiaatteella toimivasta laitteesta. Mielestäni myös tuotteen käyttöarvon ja uutuusarvon tutkimiseen olisi hyvä perehtyä huolella tulevaisuudessa. Laitteen myyntihinta ja kilpailevat laitteet olisi siten helpompi kartoittaa. Markkinat kuntolaitteiden parissa ovat hyvin kilpailuhenkiset ja tuotteita on hyvin paljon markkinoilla. Kuntolaitteisiin on viime vuosina tullut paljon mittaus- ja tallennusominaisuuksia. Mielestäni laitteen suurin potentiaali on kuntoiluteknologisten mittausten ja ohjelmistoratkaisujen puolella. Laitteen käyttöliittymän ja sovellusten kehittäminen olisikin luonteva kehityshanke projektille.

Työ oli hyvin opettavainen ja oli mielestäni hyvin kattava leikkaus kaikista neljän vuoden aikana opiskelluista aiheista. Paljon uutta oppia ja käytännön kokemusta tuli tuotekehityksestä, konseptoinnista, sähkömoottoreista, moottorinohjaimista ja mekaniikkasuunnittelusta.

LÄHTEET

1. Matalalampi, Timo 2011. Kuntoilulaitteen ohjauselektroniiikan suunnittelu. Insinööritoimisto. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu, tietotekniikan koulutusohjelma. Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma.
2. Vienamo, Teppo 2005. Muoviteknologia. Virtuaaliyliopisto. Taideteollinen korkeakoulu. Saatavissa: http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/muoviteknologia/suunnittelu/04-00_tuotte.html. Hakupäivä 11.9.2013.
3. Keinonen, Turkka – Jääskö, Vesa 2004. Helsinki. Tuotekonseptointi. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
4. Routio, Pentti 2005. Tuotetiede. Virtuaaliyliopisto. Taideteollinen korkeakoulu. Saatavissa: http://www.uiah.fi/virtu/materiaalit/tuotetiede/html_files/152_ohjaava.html. Hakupäivä 11.9.2013.
5. Suomen Akatemia – TEKES – Verkkotie Oy 2006. Finnsight 2015 – Tieteen, teknologian ja yhteiskunnan näkymät. Ennakointihanke. Libris Oy. Saatavissa: http://www.aka.fi/Tiedostot/Tiedostot/Julkaisut/FinnSight_2015.pdf. Hakupäivä 11.9.2013.
6. Jyväskylän yliopisto. Informaatioteknologian tiedekunta. Sedospo-hanke 2012. Saatavissa: <https://www.jyu.fi/ajankohtaista/arkisto/2012/12/tiedote-2012-12-11-14-05-52-109402>. Hakupäivä 11.9.2013.
7. Kuntopyörä. 2013. Wikipedia. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kuntopy%C3%B6r%C3%A4>. Hakupäivä 11.9.2013.
8. Mywellness@key. 2013. Technogym. Saatavissa: <http://www.technogym.com/fi/products/mywellness-cloud/devices/mywellness-key/693>. Hakupäivä 11.9.2013.

9. Harjoituspalaute. 2013. Wattbike Finland. Saatavissa:
<http://wattbike.com/fi/wattbike/eroavaisuus/harjoituspalaute/>. Hakupäivä 11.9.2013.
10. Valtanen, Esko 2012. Tekniikan taulukkokirja. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy.
11. Hietalahti, Lauri 2011. Säädetty sähkömoottorikäyttö. Tampere: Tammertekniikka.
12. Hughes, Austin 2006. Electric motors and drives. Elsevier Ltd.
13. Kördel, Lennart – Johnsson, Jörgen 2004: Moottorinohjaus. Iisalmi: Is-print Oy.
14. Parker Hannifin Corporation. 2011. Tuote-esite. Saatavissa:
http://divapps.parker.com/divapps/emn/pdf/Frameless_Motor_Brochure.pdf. Hakupäivä 11.9.2013.
15. Hietikko, Esa 2011. Solidworks 2012: Tietokoneavusteinen suunnittelu. Kuopio: Kopijyvä Oy.
16. Matilainen, Jorma–Parviainen, Miikka–Havas, Taru–Hiitelä, Erja–Hultin, Sami 2010. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.
17. SFS-EN 957-1. 2007. SFS Online, kotitalous- ja kulutustavarat, urheiluvälineet ja laitteet. Kuntolaitteet. Saatavissa:
<http://sales.sfs.fi/sfs/servlets/ProductServlet?action=productInfo&productID=187138>. Hakupäivä 2.10.2013.

OULUN SEUDUN
AMMATTIKORKEAKOULU

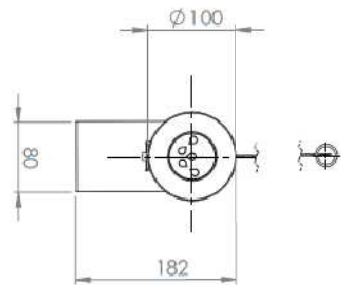


TEKNIKAN YKSIKKÖ
KOTKANTIE 1, 90250 OULU
www.oamk.fi

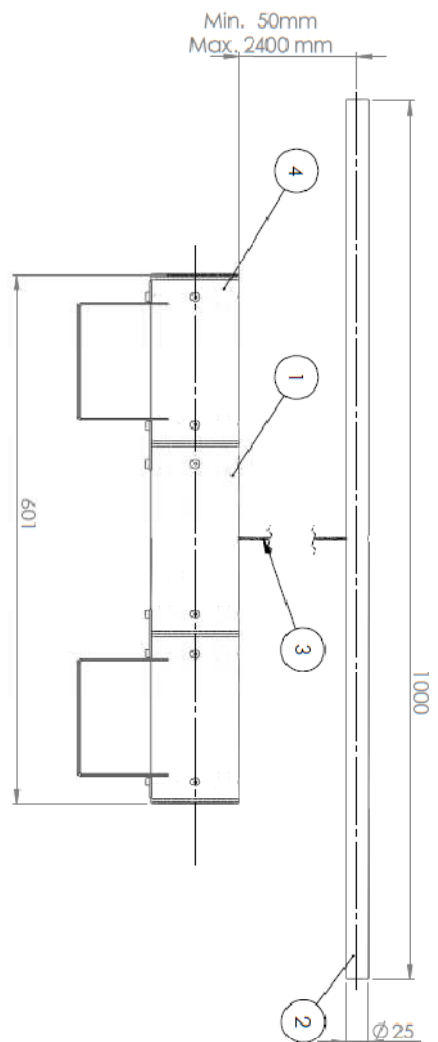
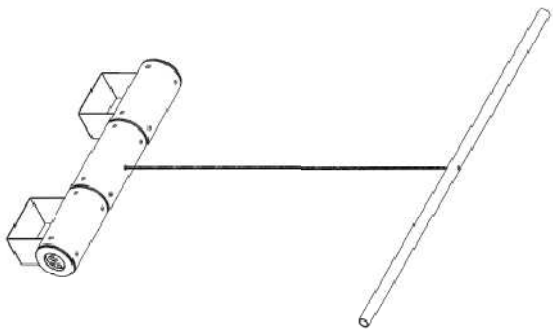
LÄHTÖTIETOMUISTIO

Työn tiedot	Tekijä ¹ Jarno Gullsten [REDACTED]	Tilaaaja ² OAMK / HYTKK
Tilaaajan yhdyshenkilö ja yhteystiedot ³ Manne Hannula		
Työn nimi ⁴ weela - kuntolaitteen mekaniikka suunnittelu		
Työn kuvaus ⁵ Suunnitella henkilökohtaisen kuntolaitteen konsepti, mekaniikka ja valmistettavuus.		
Työn tavoitteet ⁶ Kuntolaitteen 3D-mallit, valmistusmateriaalien valinta ja prototyyppi.		
Tavoiteaikataulu ⁷ 1.3 Konseptit 15.5 3D-mallit 1.7 Oppimätyö valmis		
Päiväys ja allekirjoitukset ⁸ 15 / 2 / 2013 Tekijän allekirjoitus Jarno Gullsten Tilaaajan allekirjoitus [Signature]		

1. Tekijän nimi, puhelinnumero ja sähköpostiosoite.
2. Työn teettävän yrityksen virallinen nimi.
3. Sen henkilön nimi ja yhteystiedot, joka yrityksessä valvoo työn suoritusta.
4. Työn nimi voi olla tässä vaiheessa työnimi, jota myöhemmin tarkennetaan.
5. Työ kuvataan lyhyesti. Siinä esitetään muun muassa työn tausta, lähtötilanne ja työssä ratkaistavat ongelmat.
6. Esitetään lyhyesti ja selvästi työn tavoitteet.
7. Esitetään projektin tavoiteaikataulu. Silloin, kun työllä on välitavoitteita, myös ne merkitään aikatauluun. Tavoiteaikataulun ja oppilaitoksen yleisaikataulun perusteella tekijä laatii oman aikataulunsa.
8. Lähtötietomuuisto päivätään ja sen allekirjoittavat tekijä ja tilaaajan yhdyshenkilö.

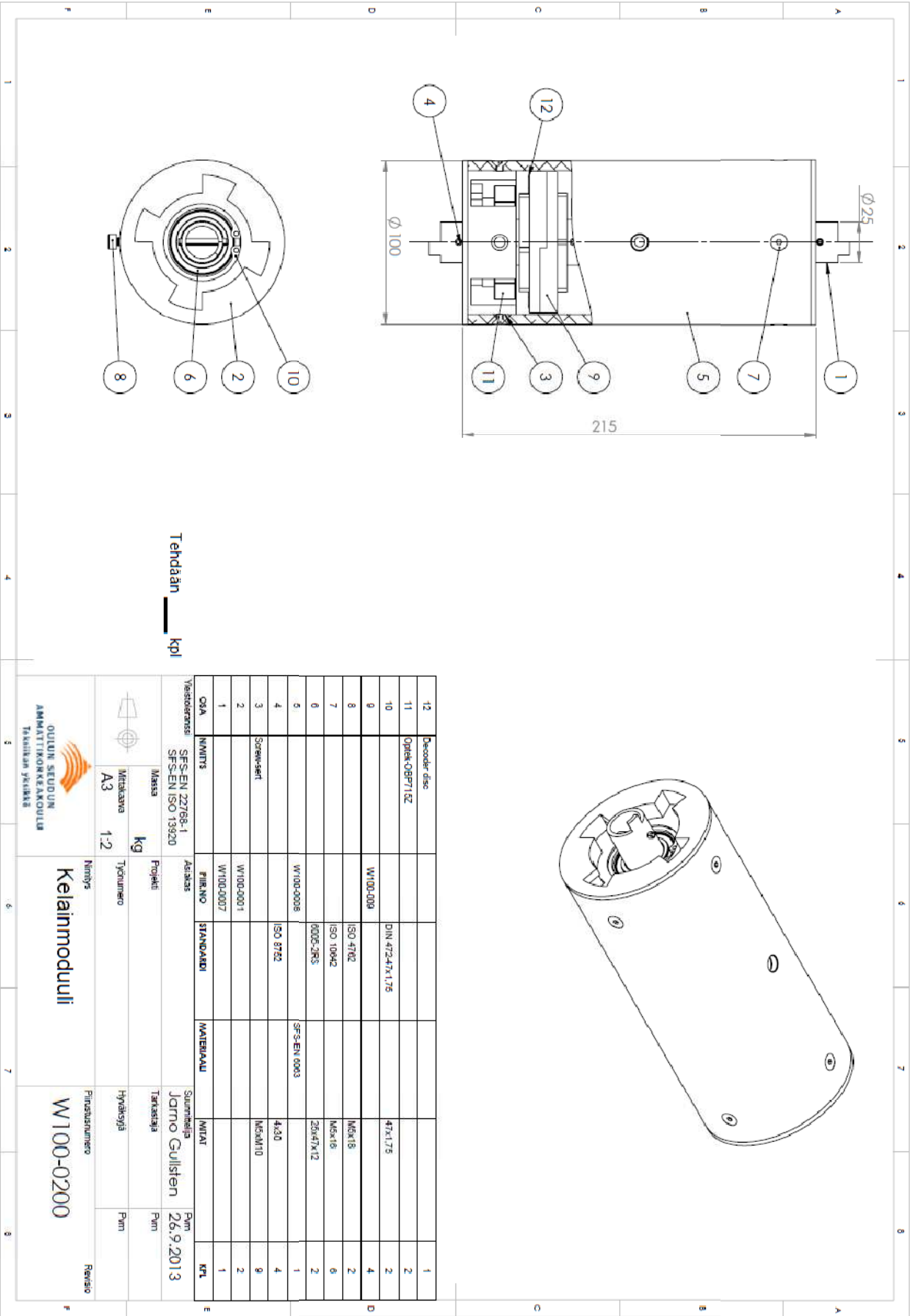


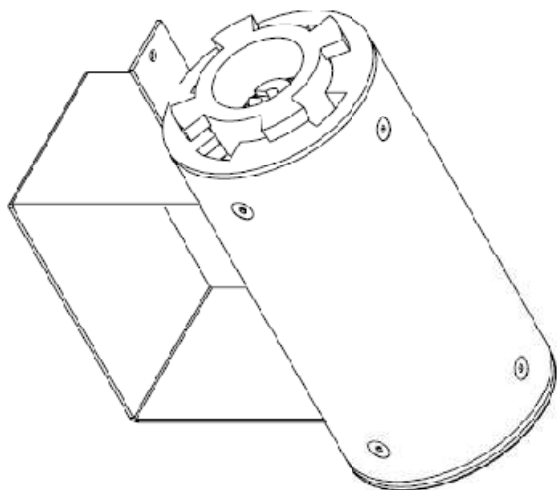
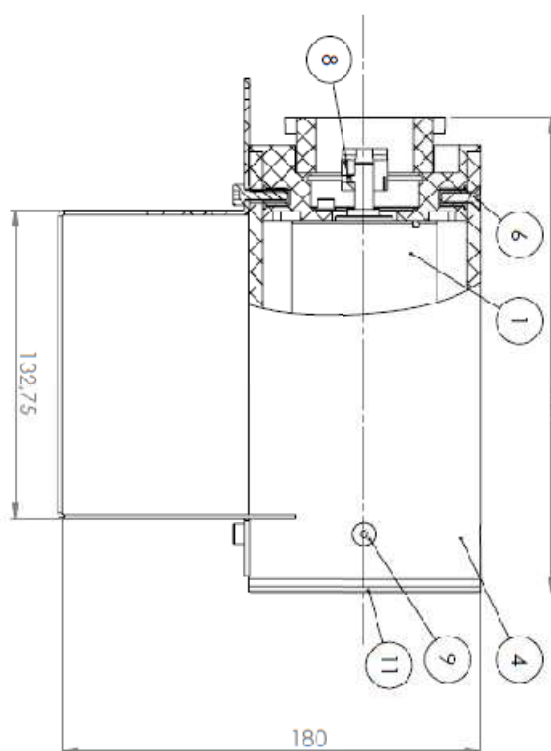
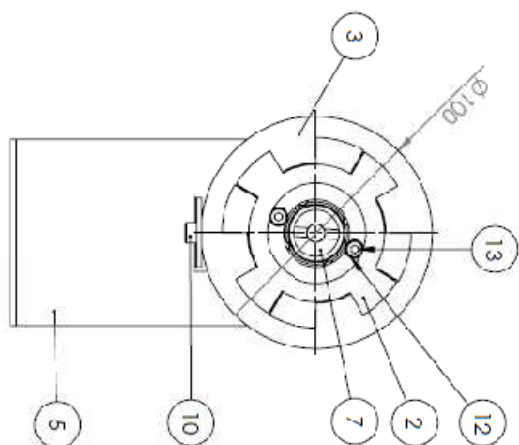
Isometric view scale 1:10



Tehdään kpl

4	Maattemoduuli	W100-0100				2
3	Koyssi	W100-0012			2500mm	1
2	Tanko	W100-0011			25x1000mm	1
1	Kelämoduuli	W100-0003		SFS-EN 6063		1
OSA	NIMITYS	FIN.NO	STANDARDI	MATERIAALI	MUUT	Pvm KTL
Yhteenveto:		Asiakas		Suunnittelija		Pvm
SFS-EN 22766-1		Projekti		Jarmo Gullsten		26.9.2013
SFS-EN ISO 13920		Materiaali		Tarkastaja		Pvm
		Kokoonpano		Pääsuunnitelma		Pvm
		Nimike		W100-0000		Revisio





Tehdään 2 kp

Materialname	Asztalos	Standard	Material	MTAT	Punt
12		ISO 6782		MAx12	4
12		ISO 7089		4mm	4
11	W11C-0006				1
1C		ISO 4702		MAx18	2
0		ISO 10612		MAx16	6
8		SFS 4735		MAx5	1
/	W11U-0010				1
0	Corrosiost			MSx110	0
5	W11U-0004				1
4	W11C-0003				1
3	W11U-0001				2
2	W11C-0002				1
1	Tundemitter GR R4,45				1
OSA	NW11S	STANDARD			
Vastavõtte:					
SFS-EN 22768-1					
SFS-EN ISO 13920					
Arvaste					
Summaidja					
Jarno Gulsten					
26.9.2013					

Massa	Projct	Tamozaja	Pun
Mittakaava	kg		
A3	Työnnumero	Hyytelöjiz	Pun